

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**

**MARINA FIGUEIREDO MÜLLER**

**A INTEROPERABILIDADE ENTRE SISTEMAS CAD DE PROJETO DE  
ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO BASEADA EM ARQUIVOS IFC**

**CURITIBA**

**2011**

**MARINA FIGUEIREDO MÜLLER**

**A INTEROPERABILIDADE ENTRE SISTEMAS CAD DE PROJETO DE  
ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO BASEADA EM ARQUIVOS IFC**

Dissertação apresentada ao Programa de  
Pós-Graduação em Construção Civil como  
parte dos requisitos para obtenção do grau de  
mestre.

Área de Concentração: Gerenciamento.

Orientador: Prof. Dr. Sergio Scheer.

**CURITIBA**

**2011**

Muller, Marina Figueiredo

A interoperabilidade entre sistemas CAD de projeto de estruturas de concreto armado baseada em arquivos IFC / Marina Figueiredo Muller. – Curitiba, 2011.

127 f. : il., tabs, grafs.

Orientador: Sergio Scheer

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Curso de Pós-Graduação em Construção Civil.

1. Concreto armado. 2. Projeto estrutural. 3. Modelagem de informação da construção. I. Scheer, Sergio. II. Título. III. Universidade Federal do Paraná.

CDD 620.135

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

MARINA FIGUEIREDO MÜLLER

### **A INTEROPERABILIDADE ENTRE SISTEMAS CAD DE PROJETO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO BASEADA EM ARQUIVOS IFC**

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção de grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, pela seguinte banca examinadora:

Orientador: Prof. Dr. Sergio Scheer

Programa de Pós-Graduação em Construção Civil - UFPR

Banca Examinadora:

Curitiba, 16, Março, 2011.

## **AGRADECIMENTOS**

À minha família, amigos, e ao namorado Rubens pelo apoio e orações nesta etapa.

Ao orientador Sergio Scheer, que desde a graduação apoiou e motivou meus estudos na área de TI e BIM.

Aos professores das disciplinas cursadas durante o programa: Silvio Wille, Ricardo Mendes Jr., Eduardo Toledo Santos, Roberto Dalledone, Maria do Carmo e Maria Alexandra Cunha.

À UFPR pela excelente formação que me proporcionou da graduação ao mestrado. À USP e à PUC-PR por terem me proporcionado possibilidade de cursar disciplinas.

À Autodesk, TQS e Solibri pelo apoio a esta pesquisa fornecendo licenças dos softwares estudados.

Às secretarias Ziza e Maristela pela boa vontade e auxílio com as documentações.

Aos colegas Emílio Lima Nascimento e Cervantes Ayres filho, pela colaboração na pesquisa e no desenvolvimento de alguns artigos.

A Deus, por ter me dado forças quando estas faltaram.

## RESUMO

O desenvolvimento das Tecnologias da Informação possibilitou o surgimento da modelagem de produto da construção, também conhecida por BIM. Também houve o desenvolvimento de sistemas de cálculo e detalhamento estrutural. Com isso, surge a necessidade de que esses sistemas trabalhem de maneira interoperável. Este trabalho trata em especial da interoperabilidade de modelos de estruturas de concreto armado. As particularidades de modelos estruturais de concreto armado foram estudadas para propor sugestões para o desenvolvimento da interoperabilidade destas. Para gerá-las foram desenvolvidos experimentos de exportação e importação de modelos estruturais através do formato IFC, visto que este é um modelo não-proprietário específico para modelos BIM. O resultado da pesquisa apontou que determinadas características em especial devem ser levadas em conta para uma interoperabilidade eficiente. Pode-se apontar em especial que a característica monolítica das estruturas de concreto armado deve ser levada em conta, bem como a necessidade de detalhar as armaduras das mesmas.

**Palavras-chave:** *Building Information Modeling*. Interoperabilidade. Projeto estrutural. Concreto armado.

## **ABSTRACT**

The development of Information technology has enabled the development of Building Information Modeling (BIM). Structural analysis and detailing software have also been developed over the years. Therefore, it becomes necessary for these systems to interoperate. This research discusses interoperability in the cast-in-place concrete structures domain. Some particular characteristics of pre-cast concrete structures were studied in order to suggest solutions to improve the development of their interoperability. To suggest such solutions two experiments were developed. These experiments included importing and exporting structural models through IFC files. IFC is a non-proprietary standard for BIM models. The results showed that some characteristics must be considered in order to achieve efficient interoperability for cast in place concrete structures. The fact that these structures are monolithic, and that they have reinforcement steel bars that need detailing should be observed.

**Keywords:** Building Information Modeling. Interoperability. Structural design. Cast-in-place concrete.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – PROPRIEDADES DE OBJETOS.....	28
FIGURA 2 – GERAÇÃO DE PLANTAS, CORTES E ELEVAÇÕES.....	29
GRÁFICO 1 – BARREIRAS DE ADOÇÃO DE SISTEMAS BIM.....	33
GRÁFICO 2 – VANTAGENS DE SISTEMAS BIM DE ACORDO COM OS USUÁRIOS .....	36
FIGURA 3 – FLUXO DO PROCESSO DE PROJETO ESTRUTURAL.....	41
FIGURA 4 – PROCESS MAP – BUILDING SMART .....	47
FIGURA 5 – FLUXO DE EXPERIMENTOS.....	57
FIGURA 6 – ETAPAS DA PESQUISA.....	59
FIGURA 7 – VISÃO TRIDIMENSIONAL DO MODELO.....	66
FIGURA 8 – BLOCO À ESQUERDA EXISTIA NA BIBLIOTECA DO PROGRAMA, E O BLOCO À DIREITA É O MESMO BLOCO REMODELADO PARA SE ADEQUAR AO PROJETO. ....	71
FIGURA 9 – MODELO ORIGINAL DO TQS À ESQUERDA E O MESMO MODELO CRIADO NO REVIT STRUCTURE À DIREITA.....	72
FIGURA 10 – EXPERIMENTOS REALIZADOS.....	73
FIGURA 11 – À ESQUERDA: MODELO EXPORTADO PARA IFC DO REVIT E ABERTO NO PRÓPRIO SOFTWARE. À DIREITA MODELO EXPORTADO PARA IFC DO TQS E ABERTO NO REVIT STRUCTURE .....	74
FIGURA 12 – MODELOS EXPORTADOS PARA IFC VISUALIZADOS NO SOLIBRI MODEL VIEWER– À ESQUERDA A PARTIR DO TQS E A PARTIR DO REVIT STRUCTURE À DIREITA.....	75
FIGURA 13 – VIGA COM GUIDS DIFERENTES EM TRAMOS DIFERENTES.....	76
FIGURA 14 – VIGAS COM ERROS NAS CURVAS. À DIRETA IMPORTADAS DO TQS E À ESQUERDA IMPORTADAS DO REVIT.....	76
FIGURA 15 – VIGAS COM ERROS GRÁFICOS DE LINHAS “SALTANDO” DO DESENHO - IMPORTADAS DO REVIT E VISUALIZADAS NO REVIT.....	77
FIGURA 16 – À ESQUERDA BLOCOS ORIGINADOS NO REVIT E À DIREITA BLOCOS ORIGINADOS NO TQS – NA SEQUÊNCIA DE 4, 3, 1 E 2 ESTACAS .....	82
FIGURA 17 – ESTACA NÃO FOI GERADA CIRCULAR, E SIM COMO UM OCTAEDRO.....	83
FIGURA 18 – À ESQUERDA PILARES ORIGINADOS NO REVIT E À DIREITA PILARES ORIGINADOS NO TQS – NA SEQUÊNCIA COM DOIS PAVIMENTOS, COM UM PAVIMENTO, COM MUDANÇA DE SEÇÃO, CIRCULAR E EM L.....	84
FIGURA 19 – PILAR DIVIDIDO EM PAVIMENTOS (DEVERIA SER UM ELEMENTO ÚNICO).....	85
FIGURA 20 – ACIMA VIGAS ORIGINADAS NO REVIT E EMBAIXO VIGAS ORIGINADAS NO TQS – NA SEQUÊNCIA: VIGA INCLINADA, COM UM TRAMO, COM DOIS TRAMOS, COM MUDANÇA DE SEÇÃO, COM FURO E CURVA .....	86



FIGURA 21 – VIGA QUE FOI QUEBRADA DURANTE A EXPORTAÇÃO (DEVERIA SER UM ELEMENTO ÚNICO) .....	87
FIGURA 22 – VIGAS COM ERROS GEOMÉTRICOS- À ESQUERDA VIGA CURVA PARTICIONADA E À DIREITA VIGA COM FURO .....	87
FIGURA 23 – ACIMA LAJES ORIGINADAS NO REVIT E EMBAIXO LAJES ORIGINADAS NO TQS – NA SEQUÊNCIA: LAJE COM BORDO LIVRE, COM FURO, CURVA, ESCADA, RAMPA E NERVURADA...	88
FIGURA 24 – AMADURA DE UMA LAJE MOSTRADA NO VISUALIZADOR DE IFC COMO UMA QUANTIDADE EM m <sup>3</sup> .....	88
FIGURA 25 – À ESQUERDA FORMA COMO AS ESTRUTURAS SÃO TRATADAS NOS MODELOS DE CONCRETO ARMADO, E À DIREITA COMO ELAS DEVERIAM SER TRATADAS PARA QUE O MONOLITISMO DA ESTRUTURA SEJA CONSIDERADO CORRETAMENTE .....	91

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – CONFERÊNCIA DE ENTIDADES IMPORTADAS.....	62
TABELA 2 – PORCENTAGENS DE PEÇAS IMPORTADAS .....	63
TABELA 3 – ALTURAS E ÁREAS DO MODELO.....	66
TABELA 4 – CARACTERÍSTICAS DAS VIGAS.....	67
TABELA 5 – CARACTERÍSTICAS DOS PILARES .....	68
TABELA 6 – CARACTERÍSTICAS DAS LAJES.....	69
TABELA 7 – CARACTERÍSTICAS DOS BLOCOS DE FUNDAÇÃO .....	69
TABELA 8 – RESULTADOS .....	77
TABELA 9 – TAMANHOS DOS ARQUIVOS.....	78
TABELA 10 – CARACTERÍSTICAS DOS MODELOS.....	80
TABELA 11 – FUNDAÇÕES .....	81
TABELA 12 – PILARES.....	83
TABELA 13 – VIGAS.....	85
TABELA 14 – LAJES.....	87

## LISTA DE SIGLAS

AEC	- Arquitetura Engenharia e Construção
API	- Application Program Interface
BIM	- Building Information Modeling
BOB	- Building Object Behavior
CAD	- Computer Aided Design
CAM	- Computer Aided Manufacturing
Cis/2	- CIMsteel Integration Standards
DXF	- Drawing Exchange Format
GUID	- Genuine Unique Identifier
ERP	- Enterprise Resource Planning
IAI	- International Alliance for Interoperability
IFC	- Industry Foundation Classes
ISO	- International Standardization Organization
OO-CAD	- Object oriented CAD
PIB	- Produto Interno Bruto
PMI	- Project Management Institute
PPGCC	- Programa de Pós Graduação em Construção Civil
RCC	- Resíduos Sólidos na Construção Civil
ST	- Structure
SDNF	- Steel Detail Neutral File
TI	- Tecnologia da Informação
UFPR	- Universidade Federal do Paraná
WEB	- World Wide Web
XML	- Extensible Markup Language

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	12
1.1	PROBLEMA DE PESQUISA .....	13
1.2	OBJETIVOS .....	13
1.2.1	Objetivo Geral .....	13
1.2.2	Objetivo secundário .....	14
1.3	HIPÓTESES .....	14
1.4	JUSTIFICATIVA.....	14
1.5	CONTEXTUALIZAÇÃO NO PROGRAMA .....	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO .....	18
2.1	TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E PROJETOS .....	18
2.2	INFLUÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO PARA PROJETOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL .....	20
2.3	FERRAMENTAS DE PROJETO.....	22
2.3.1	Ferramentas primitivas - a era pré-papel .....	22
2.3.2	Ferramentas de desenho tradicionais .....	23
2.3.3	CAD Geométrico.....	23
2.3.4	CAD 3D.....	24
2.3.5	CAD 4D e nD .....	25
2.3.6	BIM .....	26
2.4	SISTEMAS CAD DE PROJETO ESTRUTURAL .....	37
2.4.1	O projeto estrutural .....	37
2.4.2	Sistemas CAD de projeto estrutural.....	39
2.5	INTEROPERABILIDADE .....	44
2.5.1	IFC .....	45
2.5.2	Testes de interoperabilidade IFC .....	49
2.5.3	Interoperabilidade de sistemas CAD de projeto estrutural .....	49
2.6	TRABALHOS correlatos .....	53
2.7	CONSIDERAÇÕES SOBRE O REFERENCIAL TEÓRICO.....	53
3	MÉTODO .....	55
3.1	UNIDADE DE ANÁLISE .....	55
3.2	primeiro eXPERIMENTO .....	55
3.3	segundo eXPERIMENTO .....	57
3.4	DELIMITAÇÃO DO TRABALHO.....	58
3.5	ETAPAS DO PROCESSO DE PESQUISA.....	59
3.6	VALIDAÇÃO .....	60
3.7	SELEÇÃO DAS AMOSTRAS .....	61
3.8	PROTOCOLO DE COLETA DE DADOS.....	61
3.9	MÉTODO DE ANÁLISE DE DADOS .....	63
3.10	PARCERIAS.....	64
4	RESULTADOS DO PRIMEIROEXPERIMENTO .....	65
4.1	CARACTERÍSTICAS DO MODELO .....	65

4.2	DIFICULDADES ENCONTRADAS .....	70
4.3	RESULTADOS DO PRIMEIRO EXPERIMENTO .....	71
4.2	CONCLUSÕES SOBRE O PRIMEIRO EXPERIMENTO .....	79
5.1	CARACTERÍSTICAS DOS MODELOS: .....	80
5.2	DIFICULDADES ENCONTRADAS .....	81
5.3	RESULTADOS DO SEGUNDO EXPERIMENTO .....	81
5.3.1	Blocos de fundação .....	81
5.3.2	Pilares .....	83
5.3.3	Vigas .....	85
5.3.4	Lajes .....	87
5.4	CONCLUSÕES SOBRE O SEGUNDO EXPERIMENTO .....	89
6	CONCLUSÕES .....	90
6.1	SUGESTÕES PARA A MELHORIA DA INTEROPERABILIDADE DE MODELADORES BIM PARA ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO .....	90
6.2	AVALIAÇÃO DA INTEROPERABILIDADE DOS SISTEMAS .....	93
6.3	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	93
	REFERÊNCIAS .....	95
	CITADAS NO DOCUMENTO .....	95
	BIBLIOGRAFIA DE CONSULTA .....	103
	APÊNDICES .....	104
	<b>APÊNDICE A – TABELAS DE RESULTADOS – EXPERIMENTO 1 .....</b>	<b>105</b>
	<b>APÊNDICE B – TABELAS DE RESULTADOS – EXPERIMENTO 2 .....</b>	<b>125</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As Tecnologias da Informação aplicadas à construção civil têm passado por uma grande evolução recentemente. Porém nem sempre os sistemas têm a possibilidade de trabalhar em conjunto, ou seja, não são interoperáveis.

Essa ineficiência na interoperabilidade pode acarretar retrabalho, desencontro de informações, imprecisão e insegurança a respeito da confiabilidade das informações. Diante deste cenário, foi criada a *International Alliance For Interoperability* (IAI) – atual *Building Smart*, que tem por objetivo promover a interoperabilidade entre softwares arquitetura, engenharia e construção (AEC). Para garantir essa interoperabilidade a *Building Smart* desenvolveu o padrão *Industry Foundation Classes* (IFC). O IFC é um padrão neutro que tem por principal função padronizar as classes dos sistemas orientados por objetos em um modelo aberto de forma que vários aplicativos possam utilizá-lo para compartilhar dados (NASCIMENTO, 2004).

No presente trabalho, propõe-se o estudo da interoperabilidade entre sistemas *Computer Aided Design* (CAD) de projeto estrutural de estruturas de concreto armado e sistemas *Building Information Modeling* (BIM).

Sistemas CAD de projeto estrutural são aqueles que efetuam cálculo de esforços, dimensionamento e detalhamento de uma estrutura, enquanto que sistemas BIM são, de acordo com Eastman *et al.* (2008), no *BIM Handbook*, aqueles que permitem a construção de um modelo digital de uma edificação. Esse modelo, quando completo, contém a geometria precisa e informação relevante para a construção do edifício (como materiais, preços, instruções de montagem etc.). Outra característica importante dos sistemas BIM é que estes procuram abranger todo o ciclo de vida da edificação (desde projeto e construção até manutenção e demolição).

O Sistema CAD de projeto estrutural adotado como objeto de estudo nesta pesquisa foi o TQS, da TQS Informática, enquanto que o modelador BIM utilizado foi o *Revit Structure*, da Autodesk, visto que recentemente a TQS Informática formalizou um acordo com a Autodesk para promover a interoperabilidade entre os dois sistemas.

Propõe-se avaliar a eficiência da interoperabilidade dos sistemas citados e gerar sugestões para o desenvolvimento da interoperabilidade para modelos de estruturas de concreto armado. Para tal, foram efetuados experimentos com os sistemas para avaliar a eficiência destes quando trabalham em conjunto.

## 1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Juntamente com a evolução das Tecnologias da Informação na área Arquitetura Engenharia e Construção (AEC) surge o problema das dificuldades de interoperabilidade. Essa ineficiência na interoperabilidade pode acarretar em retrabalho, desencontro de informações, imprecisão e insegurança a respeito da confiabilidade das informações. Diante desta realidade, as empresas desenvolvedoras de sistemas CAD de projeto estrutural começam a fazer acordos com desenvolvedores de modeladores BIM para promover a interoperabilidade entre seus produtos (como o acordo realizado entre a TQS Informática e Autodesk).

Neste contexto, a questão a ser estudada no presente trabalho foi a seguinte: como pode a interoperabilidade baseada em arquivos IFC entre sistemas CAD de projeto de estruturas de concreto armado e sistemas BIM se tornar mais eficiente?

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

O principal objetivo desta pesquisa foi fazer sugestões para o desenvolvimento da interoperabilidade entre sistemas CAD de projeto de estruturas de concreto armado e modeladores BIM através de arquivos IFC.

### 1.2.2 Objetivo secundário

Avaliar a eficiência da interoperabilidade entre os sistemas específicos Revit e TQS através de arquivos IFC, identificando as conformidades e não-conformidades das transferências.

## 1.3 HIPÓTESES

Supõe-se que a interoperabilidade de sistemas CAD de projeto estrutural e modeladores BIM ainda não atingiram um grau de eficiência e confiabilidade satisfatórios. Pode-se justificar esta hipótese com base nos recentes estudos de Andrade e Ruschel (2009), que elaboraram um estudo semelhante para modeladores BIM arquitetônicos, não obtendo resultados 100% satisfatórios. Também pode-se considerar o estudo internacional de Jeong *et al.* (2009), que realizou experimentos de interoperabilidade de modeladores BIM com enfoque em estruturas, também não obtendo resultados satisfatórios.

Acredita-se também que algumas características específicas das estruturas de concreto armado tenham um papel relevante na geração de modelos IFC.

## 1.4 JUSTIFICATIVA

A crescente utilização de Tecnologias da Informação na construção civil leva a uma necessidade de mais estudos na área. Caron (2007) demonstrou que 97,7% dos projetistas da região metropolitana de Curitiba utiliza algum software diretamente no seu trabalho, sendo que a maioria utiliza o AutoCAD. Caron (2007) também aponta que a maioria dos projetistas acredita na importância da Tecnologia da Informação (TI) para o seu trabalho, porém a falta de conhecimento e a cultura do



setor dificultam a entrada de novas tecnologias como CAD 3D, nD e realidade virtual nos escritórios de projeto.

Melhado (1994) compilou os fatores que contribuem para a qualidade do projeto. Alguns fatores importantes são: a concentração de esforços nas fases iniciais do projeto, a integração entre projeto e produção, custos e suprimentos. O autor também ressalta a necessidade do abandono de uma postura conservadora presente nas empresas de projeto, deixando de lado a mentalidade de trabalhar de forma compartimentada.

As ideias de integração do projeto com as outras áreas e a necessidade de se evitar o projeto compartimentado e substituí-lo pelo trabalho simultâneo podem se beneficiar da utilização de sistemas BIM, visto que uma de suas possibilidades é a colaboração e integração entre as várias fases do projeto, a partir das fases iniciais (EASTMAN *et al.*, 2008).

Segundo Mikaldo Junior e Scheer (2008) a falta de racionalização e coordenação entre projetos pode acarretar desperdício, devido a fatores como super ou subdimensionamento dos sistemas, paradas e retrabalho causados por informações incertas, erradas ou mesmo inexistentes. Um maior uso de mão de obra ou de recursos materiais pode ser necessário.

De acordo com a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (2006) no Brasil, a construção civil é responsável por 5,3% do Produto Interno Bruto (PIB). Segundo o Instituto McKinsey (1999), a baixa produtividade das obras no Brasil (que corresponde a um terço da produtividade americana) é proveniente de erros nos projetos e no gerenciamento. De acordo com Jacoski e Lamberts (2002), atendo-se apenas à fase de projeto, os custos de desenvolvimento e de elaboração podem ser reduzidos em até 30% com a utilização das Tecnologias da Informação.

A construção civil é uma atividade com alto impacto ambiental. Um projeto bem elaborado pode garantir significativos ganhos para o meio ambiente. De acordo com Picchi (1993) o desperdício causado por projetos não otimizados pode alcançar até 6% do custo total da obra. Logo, considerando-se as crescentes preocupações da humanidade com o desenvolvimento sustentável, torna-se importante um melhor gerenciamento de projetos.

Mediante projetos melhores, pode-se reduzir o problema dos Resíduos Sólidos na Construção Civil (RCC), que é de grande importância, visto que, quando não manejados adequadamente, tais resíduos podem causar grande impacto

ambiental, trazendo problemas como assoreamento de corpos de água e corpos de drenagem (causando inundações), atração de vetores etc. (VALENÇA; WANDERLEY; MELO, 2006).

Considerando que o desenvolvimento da tecnologia na construção civil traz uma melhoria do mercado da engenharia, pode-se ressaltar que as vagas de emprego podem ter um considerável crescimento, valendo lembrar que, em 2006, a construção civil era responsável por cerca de 1,4 milhões de empregos no país (CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO, 2006).

Segundo Jacoski e Lamberts (2002) a pesquisa desenvolvida na área de TI na construção civil ainda é insuficiente frente às necessidades da sociedade, particularmente levando-se em conta sua crescente utilização, velocidade de desenvolvimento e importância. Em relação a países da Europa, América do Norte e Ásia, o desenvolvimento de Tecnologias de Informação na indústria da construção civil brasileira apresenta defasagem (ISATTO, 2007).

Jacoski e Lamberts (2002) ainda ressaltam a necessidade de maior interoperabilidade para essas tecnologias, o que permitiria uma troca de informações mais eficiente entre os sistemas.

Instituições como a *Building Smart* (antiga IAI) visam reunir engenheiros, arquitetos, pesquisadores e desenvolvedores de softwares em torno de um objetivo comum que é criar padrões entre softwares da indústria da construção civil para garantir uma melhor interoperabilidade entre os mesmos.

A empresa TQS Informática produz um sistema CAD de projeto estrutural usado no Brasil, e realizou um acordo com a Autodesk para o desenvolvimento de um módulo para a integração dos sistemas Revit e TQS, segundo Covas (2008), no informativo da TQS informática.

Diante dessa realidade, o estudo proposto é relevante para preencher uma lacuna existente na área de projetos de estruturas, contribuindo para a modernização do cenário brasileiro na área de Tecnologia da Informação para a Construção Civil.

## 1.5 CONTEXTUALIZAÇÃO NO PROGRAMA

O Programa de Pós-Graduação em Construção Civil (PPGCC) da Universidade Federal do Paraná (UFPR) tem vários estudos na área de TI na construção civil, e alguns na área de projetos estruturais. São exemplos de dissertações de mestrado recentes produzidas pelo Programa:

- a. Jorge Mikaldo Junior - Estudo comparativo do processo de desenvolvimento e compatibilização de projetos em 2D e 3D com uso de TI – 2006;
- b. Andre Mendonça Caron - A utilização de tecnologia de informação em escritórios de um projeto - levantamento na região metropolitana da cidade de Curitiba – 2007;
- c. Roberto Stramandinoli - O escritório de projetos estruturais e suas peculiaridades - buscando subsídios para o futuro negócio – 2007;
- d. Armando Luís Yoshio Ito - Gestão da informação no processo de projeto de arquitetura: estudos de caso – 2007;
- e. Cervantes Ayres Filho – Acesso ao modelo integrado do edifício -2009.

Este trabalho propõe se colocar como mais uma contribuição aos estudos desses outros pesquisadores, continuando o desenvolvimento de Tecnologias da Informação na construção civil com um enfoque específico no projeto de estruturas de concreto armado.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E PROJETOS

Segundo Adamides e Karacapilidis (2006), inovação é um processo que depende tanto de membros individuais como do conhecimento coletivo de uma organização. Um processo em todas as etapas envolve a identificação, a resolução, a previsão e a antecipação de problemas, sendo que a interação social é o fator essencial deste processo. O papel da Tecnologia da Informação é estruturar o processo de forma que este encoraje divergências de perspectivas e confluência de resultados.

Segundo Biagini (2007), mudanças têm sido feitas na TI de apoio decisório e de gerenciamento para projetos arquitetônicos que envolvem várias fases de desenvolvimento com especificações diferenciadas a cada uma. Com uma necessidade cada vez maior de automação, os sistemas de TI nem sempre foram suficientemente simples e claros, e frequentemente não apresentavam a eficiência e o desempenho desejados pelos usuários. Uma das maiores dificuldades de profissionais é que a eficiência que um sistema promete ter numa determinada fase do projeto diverge do desempenho que ele realmente apresenta.

A engenharia simultânea consiste de uma integração e concepção simultânea de produtos, considerando todos os elementos do ciclo de vida do projeto (MECCA, 2000 *apud* BIAGINI, 2007). Biagini (2007) ainda comenta que neste processo é preciso superar o processo decisório tradicional, antecipando as decisões a serem tomadas, facilitando assim a integração das diferentes partes do projeto.

Segundo Day (1997 *apud* GARBA; HASSANAIN, 2004), a principal atividade no ciclo de vida de um projeto é garantir que a informação seja processada corretamente para garantir que a edificação construída esteja de acordo com o definido na fase de projeto. Entende-se que o ciclo de vida de um projeto de construção civil pode ser dividido em cinco fases: estudo de viabilidade, projeto e documentação, construção e entrega, operação e manutenção e *decommissioning*.

Segundo Hegazy *et al.* (2001) e Day (1997), citados por Garba e Hassanain (2004), o processo de design é evolutivo e mutável, logo uma boa comunicação entre os participantes e uma coordenação eficiente de mudanças são muito importantes.

Segundo Gattoni (2001), a velocidade de mudanças no mercado moderno somada à evolução global destes (mais fornecedores, mais produtos, mais parceiros etc.) faz com que aumente a necessidade de se obter resultados instantâneos. Dentro da gestão do projeto, é de grande importância que sejam estabelecidas maneiras de gerenciar o conhecimento (geração, armazenamento e distribuição). O autor cita que no *Project Management Institute* (PMI) não existe uma área específica para gestão do conhecimento, ficando esta incluída na área de gerenciamento de comunicações ou de RH. Porém o PMI sugere um “*framework*” para as comunicações de um projeto, levando em consideração também as tecnologias a serem empregadas na gerência de comunicações.

Segundo Sauer e Reich (2009), a TI tem se tornado mais importante no gerenciamento de projetos estratégica e operacionalmente, ou seja, tem uma influência direta no sucesso da empresa e de seus projetos. O gerente de projetos tem de ser inovador também no modo como utiliza os seus recursos (no caso a tecnologia disponível), visto que a criatividade possibilita lidar com mudanças (fator essencial na Tecnologia da Informação).

Atualmente, no ambiente tecnológico as mudanças acontecem muito rapidamente, e para acompanhá-las é necessário aplicar o gerenciamento de projetos. O autor cita, entre outras, que em projetos de alta tecnologia encontram-se as seguintes características: níveis de inovação e criatividade altos, e utilização de sistemas CAD, CAM (*Computer Aided Manufacturing*) e *Enterprise Resource Planning* (ERP). Logo, observa-se que não se pode dissociar a Tecnologia da Informação da criatividade e deve-se estudar a influência de uma na outra (SATO; DERGINT, 2004).

Ao decidirem implantar a gestão de projetos algumas empresas se concentram apenas no treinamento da equipe no software, não se preocupando em treinar a equipe propriamente em gerenciamento de projeto, levando a proposta ao insucesso. Os autores ainda recomendam a utilização de um projeto piloto, para permitir os ajustes necessários (SATO; DERGINT, 2004).

Ainda de acordo com Sato e Dergint (2004), a gestão de projetos também deve ter como objetivo gerenciar a sua propriedade intelectual, ou seja, o conhecimento, as habilidades e a criatividade de sua equipe. Para isso um escritório de projetos deve selecionar os softwares mais adequados para a gestão e documentação dos projetos.

## 2.2 INFLUÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO PARA PROJETOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Com o surgimento dos programas de qualidade como a *International Standardization Organization* (ISO), ocorreu a necessidade da formalização das informações. Neste ponto a Tecnologia da Informação mostra-se uma ferramenta importante no processo de projeto. De acordo com Jacoski (2003)

Um projeto integrado de sistemas de informação pode minimizar a desordem potencial no relacionamento de grupos ou de pessoas durante a consecução do projeto e podendo prover uma memória técnica acumulada durante os anos, criando um acervo de capital intelectual.

Segundo Lawson (2002), muitos processos da fase de design podem ser afetados pelo uso de computadores, entre estes estão a visualização tridimensional, as simulações e a coordenação da informação. Porém o processo de desenho é de grande importância no design arquitetônico, sendo que este não é importante apenas por comunicar os resultados aos clientes, engenheiros e construtores, mas é um passo central para o desenvolvimento de ideias.

A preocupação do autor é que os computadores passem a ditar tendências na arquitetura, ao invés do arquiteto, visto que os computadores têm pouca capacidade de reconhecimento, de interpretação e de conciliar conflitos. Assim como que o foco passe a ser no processo de design, e não no produto final e executável. Outra preocupação é que a construção de um modelo digital seja uma distração do pensamento criativo no processo de design. (LAWSON, 2002).

Segundo Lawson (2005), nas primeiras tentativas de utilização de sistemas CAD tentava-se utilizar o computador como um oráculo, ou seja, faziam-se tentativas

de fazer com que o computador fizesse cálculos de otimização e resolvesse problemas (como otimizar padrões de circulação, maximizar a luz solar etc.). Apesar de ser eficiente para calcular cada uma das variáveis, o computador não possibilita encontrar um equilíbrio racional entre cada uma delas. A forma seguinte de enxergar o computador foi como desenhista, visão que é mantida até hoje. Se os desenhos são vistos como o processo de design ao invés de um fim neles mesmos, percebe-se que as versões computacionais são rígidas e pouco flexíveis. Um fator importante é que os softwares são difíceis de operar, e isso representa o risco de que a pessoa que projeta tenha de ser diferente daquela que desenha no computador.

Segundo Schön (1983), citado por Lawson (2002), o processo de design é como “ter uma conversa com o desenho”, ou seja, são traçadas linhas no papel que falam novamente ao projetista, comunicando sobre as possibilidades e problemas do design, sendo um processo difícil de descrever formalmente. Este processo se dá através de períodos de lenta reflexão e atividade mental muito rápida, visto que o projetista mantém várias informações em mente, logo, por sua maior velocidade se usa o desenho a mão livre. Os sistemas CAD são lentos demais para permitir essa “conversa com o desenho”.

Segundo Robertson e Radcliffe (2009), a criatividade na resolução de problemas é importante em todas as fases do design, porém é de suma importância na fase de design conceitual. Os sistemas CAD não têm uma interface adequada para o desenvolvimento de um trabalho criativo, visto que apresentam a mesma interface tanto para os estudos iniciais como para o detalhamento. As ferramentas CAD dos projetistas podem influenciar seu trabalho criativo, tanto positiva quanto negativamente. Positivamente, tem-se o fator de que os sistemas 3D permitem uma melhor visualização e o trabalho de novas ideias. Outro fator é que gasta-se menos tempo com o detalhamento e o projetista pode se preocupar mais com o trabalho criativo em si, e, finalmente, permite a possibilidade de se executar trabalhos colaborativos.

Num experimento realizado por Robertson e Radcliffe (2009), uma equipe utilizando um sistema CAD sentiu certa dificuldade devido a funcionalidades e opções possíveis do sistema. Ou seja, as soluções e ideias eram limitadas às possibilidades de desenvolvimento com a ferramenta, e também ao que se mostrava mais simples e fácil (devido à falta de tempo). Porém, quando os projetistas passaram a dominar a ferramenta, essa dificuldade foi sendo superada. Uma

vantagem que se apresentou foi uma maior facilidade de visualização e de comunicação, que cria um ambiente propício para a geração de novas ideias. Segundo os autores, as melhores ideias ocorriam longe dos computadores, as quais incluíam discussões e desenhos livres. Outro fator interessante era que depois que o modelo já estava avançado em detalhamento, havia grande resistência a mudanças e novas ideias, devido ao trabalho de se alterar o que já havia sido feito.

Lawson (2005) ressalta a importância de um sistema integrado para todo o edifício (estrutura, arquitetônico, hidráulico, elétrico etc.). Porém, é alta a dificuldade de inserir todas essas informações no programa, e talvez este processo devesse acontecer apenas quando o projeto está muito bem finalizado e definido. Quando se projeta usando o computador é preciso se comunicar com ele usando sua biblioteca de componentes. Quando não se tem os componentes, é preciso primeiro desenhá-los e depois inseri-los. Ao fazer isso, o projetista tem de interromper o seu processo mental de criação, atrapalhando a qualidade e o andamento do design. Outro problema dos sistemas CAD é que estes se baseiam na ideia de que o processo de criação de projeto é de origem no conhecimento de procedimentos, quando na verdade se origina no conhecimento episódico (que seria uma espécie de prática de reflexão).

## 2.3 FERRAMENTAS DE PROJETO

### 2.3.1 Ferramentas primitivas - a era pré-papel

Na era medieval não existia a figura do arquiteto ou designer. Existia somente o construtor ou o artesão, e o mesmo era quem fazia tanto o trabalho de projeto quanto da construção ou fabricação em si (KOLAREVIC, 2003).

Na construção, todo o projeto poderia ser representado diretamente no solo do local da construção, usando um esquadro em L, um nível e um barbante (STRIKER; KUNINHOLM *apud* OUSTERHOUT, 1999). Segundo Ousterhout (1999), o esquadro provavelmente não era usado para conferir ângulos do “projeto”, e sim para conferir os ângulos das pedras que o compunham. Um dos motivos para isso



era o fato de não existir papel. O próprio pergaminho era utilizado para livros e textos religiosos. Outras vezes desenhos arquitetônicos eram representados em pedras e tijolos.

Outra questão que dificultava o design na idade média era o fato de que as representações perspectivas e ortográficas não surgiram antes da renascença, ou seja, os construtores não dispunham destas ferramentas. Estes trabalhavam utilizando muito poucos desenhos e modelos para comunicar as suas ideias (KOLAREVIC, 2003).

### **2.3.2 Ferramentas de desenho tradicionais**

Antes da era CAD, projetistas desenvolviam seus projetos utilizando réguas, compassos, curvas francesas, canetas presas a linhas e até modelos de argila e outros tipos de maquetes (PENTILLÄ, 2006).

Segundo Kolarevic (2003), antes da era CAD projetos complexos como o museu Guggenheim Bilbao seriam proibitivamente lentos, caros e trabalhosos para serem executados por meio de desenhos à mão.

### **2.3.3 CAD Geométrico**

Sutherland (1963) descreve o primeiro sistema CAD desenvolvido pelo MIT em *Sketchpad: a man-machine graphical communications system*. Por mais que o sistema não tenha sido largamente utilizado, este influenciou conceitualmente vários sistemas CAD subsequentes. Segundo Pentillä (2006), na década de 1980, os sistemas CAD 2D começam a aparecer mais na prática de projeto. Finalmente ele firma sua posição como a principal ferramenta de projeto na década de 1990.

De acordo com Ayres Filho e Scheer (2007), a ferramenta CAD é, na realidade, utilizada apenas como uma prancheta digital, ou seja, a maior parte da informação permanece na forma de desenhos geométricos bidimensionais, compilados por sistemas baseados em entidades geométricas (retas e arcos), como

o AutoCAD e MicroStation. Esse processo apenas representou a passagem do material em nanquim para o computador, facilitando a correção de desenhos e evitando tarefas repetitivas, porém não alterando consideravelmente o processo de geração de informação.

Ainda segundo Tse, Wong e Wong (2005) muitas informações do projeto podem ser organizadas em *layers*, cores ou blocos, porém este processo demanda muito tempo e não é padronizado, cada empresa adotando seu próprio padrão. Ou ainda, cada desenhista organiza-se da forma que acredita ser mais conveniente (por exemplo, alguns adotam cores para definir espessuras de traço, enquanto outros preferem agrupar em *layers* as entidades com a mesma espessura).

Conforme Lawson (2002), observa-se vários pontos positivos no desenvolvimento dos sistemas CAD, sendo a integração um dos mais importantes. Outra característica interessante é que estes podem ajudar projetistas que tenham dificuldade com o desenho, mas tenham uma boa noção e visualização espacial, visto que o computador pode representar formas geométricas complexas (como cascas, elipses, parábolas etc.). Ou seja, projetistas podem expressar ideias que as suas habilidades de desenho não permitiriam. O autor cita ainda os pontos negativos, que seriam a dificuldade de aprender uma técnica nova, e o fato de que muitas vezes designers desenvolvem um projeto graficamente bonito, mas com pouca qualidade arquitetônica e criativa.

Segundo Ito (2007), em pesquisa realizada na região metropolitana de Curitiba, o sistema CAD dominante é o AutoCAD da Autodesk, com cerca de 76% dos usuários. Outros sistemas CAD também utilizados são MicroStation e Intellicad.

#### **2.3.4 CAD 3D**

Ayres Filho e Scheer (2007) consideram o CAD 3D como uma maquete eletrônica, ou seja, quando se parte de um modelo 2D para um modelo 3D aumenta-se consideravelmente a quantidade de informações do projeto, mas ainda assim estes sistemas apresentam uma fragmentação da informação. Os elementos construtivos são representados como sólidos geométricos indistintos, de forma que

cabe ao usuário interpretá-los, sendo esses modelos chamados de maquetes virtuais.

Penttillä (2006) afirma que alguns usuários consideram os modelos gerados por um CAD 3D apenas como espessamento de uma das projeções. Logo, chamavam as maquetes virtuais de 2,5D ao invés de 3D, visto que na verdade estes objetos tridimensionais nada mais eram do que a extrusão de uma entidade geométrica bidimensional.

Segundo Gaiani (2002 *apud* BIAGINI, 2007) um modelo digital tridimensional dificulta o processo natural de fluidez das ideias em um desenho, no qual ocorre uma autorreflexão mental de identificação de símbolos. No modelo digital, a representação gráfica passa a ser apenas um pós-processamento de uma realidade numérica. Esta condição, no entanto, oferece uma representação muito mais próxima da realidade e uma descrição mais completa da edificação representada.

A modelagem tridimensional por computador deve ser usada apenas como meio para relatar esse objetivo final, e não durante o processo de criação, visto que isso pode afetar o processo criativo do projeto (LAWSON, 2002).

De acordo com Caron (2007) em seu estudo realizado na região metropolitana de Curitiba apenas 25% dos projetistas utilizam CAD 3D, embora a grande maioria concorde que o desenho 3D contribua para um melhor desenvolvimento e entendimento do projeto estrutural.

### **2.3.5 CAD 4D e nD**

Modelos 4D integram informações de espaço, tempo e aspectos lógicos da construção. Logo, pode-se minimizar erros na interpretação na sequência lógica do projeto e melhorar a comunicação. Como os modelos 4D envolvem tanto informações físicas do projeto como planejamento, estes permitem que os construtores e projetistas interajam mais. Um modelo 4D pode permitir ainda outros tipos de análise, incluindo custo, alocação de recursos, segurança, produção. Anteriormente, desenvolver um modelo 4D dependia de primeiro criar o modelo 3D a partir do 2D, depois devia se criar relações entre o cronograma e os componentes do modelo 3D em uma aplicação 4D (KOO; FISCHER, 1998).

De acordo com Tse, Wong e Wong (2005) o surgimento do CAD 4D se deu quando se procurou integrar um modelo tridimensional com um sistema de planejamento. Posteriormente, outros estudos foram realizados visando integrar orçamento, manutenção, acústica e iluminação entre outros, sendo estes modelos chamados de sistemas CAD nD.

### **2.3.6 BIM**

Com a evolução da tecnologia da construção civil, as estruturas passaram a ser cada vez mais complexas. Com o aumento dessa complexidade surgiu a necessidade de sistemas capazes de absorver e coordenar uma maior quantidade e variedade de informações (FLORIO, 2007).

O setor de construção civil apresenta um desafio ainda maior para empresas de TI por ser um setor fragmentado. Logo, os sistemas de TI também o são, apresentando um aplicativo específico e separado para cada fase do projeto. Uma tentativa de unificar e gerenciar o processo da construção civil criando um único ambiente de trabalho são os sistemas BIM (BIAGINI, 2007).

Segundo Gao, Mahalingam e Nguyen (2008) BIM é um sistema que permite não somente visualização e modelagem 3D, mas também que permite acessar todas as informações gráficas e não gráficas do modelo do edifício de maneira integrada.

Segundo Jacoski (2003), a evolução das ferramentas computacionais é tão grande que já se pode cogitar a existência de um projeto que represente a obra virtualmente (que pode ser denominado projeto ideal). Este projeto reuniria todas as informações gráficas, numéricas e textuais referentes à geometria da edificação, custos, planejamento, análise estrutural e até realidade virtual.

Um passo fundamental no processo de gerenciamento de projetos de arquitetura é a passagem de modelagem 3D para modelagem paramétrica. Este processo de modelagem entra nos processos de decisão e de comunicação do gerenciamento do projeto. Esses sistemas paramétricos permitem um reajuste das transformações em um modelo, de forma que todos os objetos conectados a ele se modifiquem corretamente e de acordo. Esta capacidade tem grande impacto no

gerenciamento de projetos arquitetônicos, pois possibilita a utilização de um sistema integrando as várias áreas da construção. Uma influência importante dos sistemas BIM é na coordenação da documentação do projeto. Porém, ainda devem desenvolver algumas características, como um gerenciamento eficiente e diferenciado para os vários níveis de projeto e de usuários. As perspectivas oferecidas pelos sistemas BIM que auxiliam no gerenciamento de projetos são: interoperabilidade, modelagem paramétrica, integração de tecnologias e operação simultânea (BIAGINI, 2007).

Segundo Ito (2007), os modeladores BIM mais utilizados e conhecidos no mercado são: *Autodesk Revit* (Autodesk), *ArchiCAD* (Graphisoft), *Vectorworks* (Nemetschek), *Architecture* (Bentley Systems).

De acordo com Yan e Damian (2008), os maiores usuários de BIM são os Estados Unidos, onde 26% das empresas utilizam esta tecnologia, contra uma média de 5% nos demais países. Em sua pesquisa, Yan afirma ainda que, mesmo nos EUA, 25% dos profissionais da área de AEC ainda não têm conhecimento nenhum sobre sistemas BIM.

Sistemas BIM são sistemas CAD orientados a objetos (OO-CAD). Por exemplo, uma parede é um objeto que tem as propriedades de uma parede (ao invés de ser apenas representada por duas linhas paralelas). A ela podem ser atribuídas propriedades de espessura, altura e comprimento, além de poder receber características não geométricas, como materiais, acabamento, especificações e custo. Outros objetos possíveis são lajes, escadas, portas, janelas, equipamentos sanitários entre outros (IBRAHIM *et al.*, 2004b).

De acordo com LEE *et al.* (2006), estas características podem ser definidas como *Building Object Behaviour* (BOB), pois definem o comportamento e montagem dos objetos.

Na Figura 1 é apresentado um exemplo de um objeto (parede), e associados a esta, tem-se a sua representação gráfica, sua função e seu material. Também é possível obter detalhes como sua espessura, sua altura, seu acabamento, se é uma parede externa ou interna etc.:

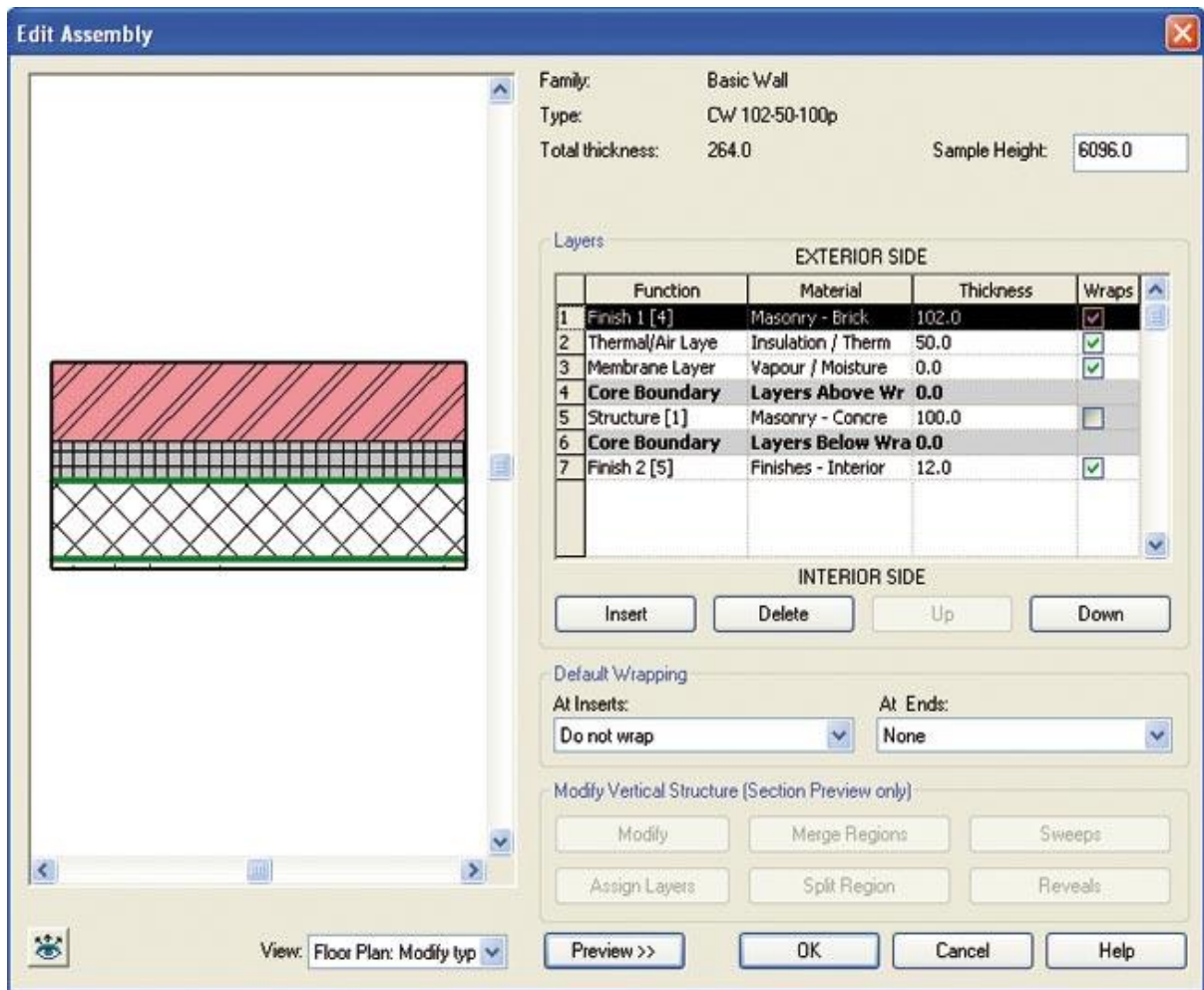


FIGURA 1 – PROPRIEDADES DE OBJETOS  
 FONTE: A autora (2011) via Revit Building.

Modelagem paramétrica é o sistema utilizado por softwares BIM para atribuir parâmetros (numéricos ou características), determinar o comportamento de uma entidade gráfica e definir o relacionamento entre partes do modelo. Portanto, quando se altera um valor, todos os valores associados a este são atualizados automaticamente (LEE *et al.*, 2006).

Segundo EASTMAN *et al.* (2008) modeladores BIM têm a capacidade de gerar automaticamente desenhos bidimensionais (vistas, cortes e plantas) a partir do modelo tridimensional, como pode ser visto na Figura 2, onde a partir do modelo 3D podem ser geradas plantas de todos os pavimentos, elevações e quantos cortes o projetista considerar necessário.

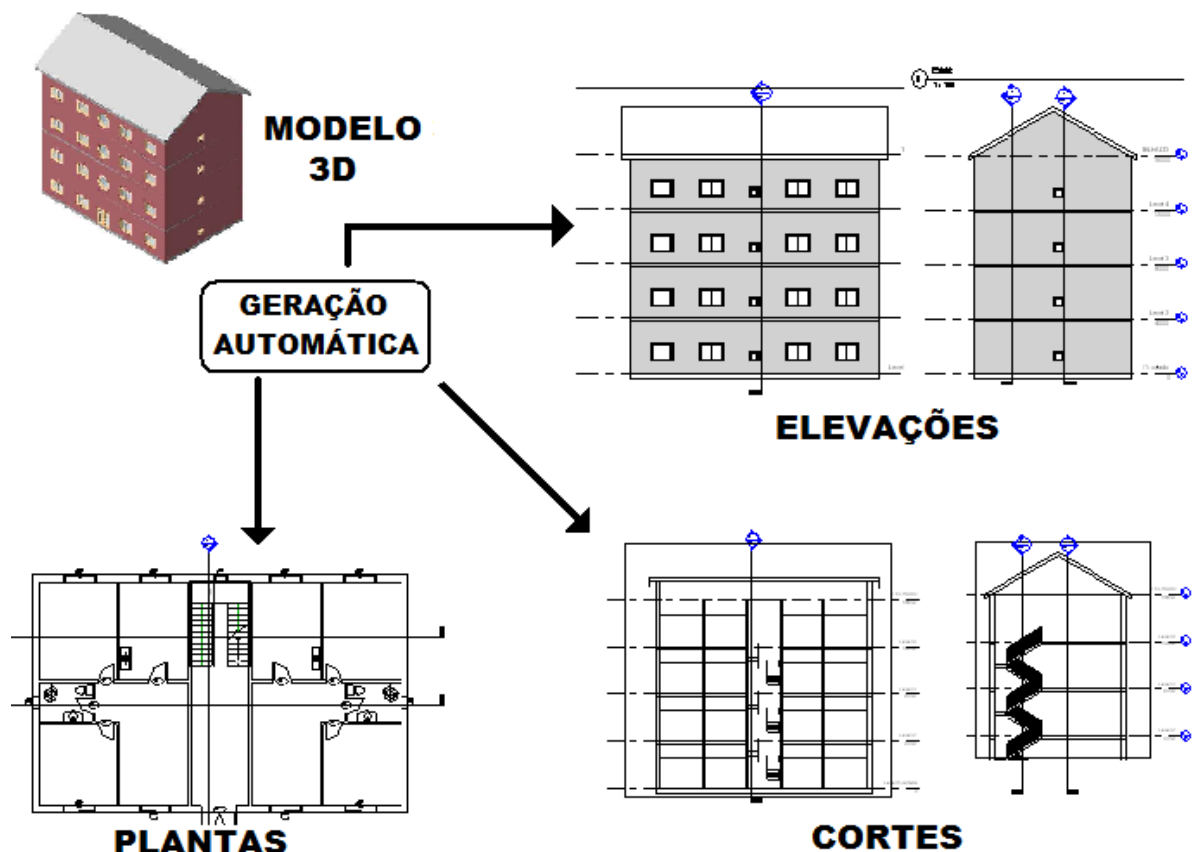


FIGURA 2 – GERAÇÃO DE PLANTAS, CORTES E ELEVAÇÕES  
 FONTE: A autora (2011).

Um modelo BIM ideal é aquele que une, em um único arquivo, todas as informações pertinentes a um edifício (IBRAHIM *et al.*, 2004a).

Para melhor explicar o conceito de modelagem de objetos BIM, Ibrahim *et al.* (2004b) os descreve do ponto de vista da ciência da computação: os objetos computacionais são procedimentos independentes que desenvolvem tarefas usando instruções e informações contidas nestes. Objetos BIM são construídos da mesma maneira. As instruções são comportamentos que um objeto pode ter (por exemplo, uma janela pode ser posicionada apenas em uma parede, visto que este é o comportamento normal de uma parede), e as informações são as outras características como tamanho, preço e material (que podem ser ou não parâmetros variáveis).

Eastman *et al.* (2008) discutem a modelagem de elementos BIM no caso de elementos modelados por indústrias. Esses componentes podem ser divididos em três principais categorias: feitos para serem estocados, sob encomenda e projetados.

Componentes estocáveis (como encanamentos e partes elétricas) e componentes sob encomenda (como janelas e portas) geralmente são especificados em catálogos. Logo, fabricantes podem prover catálogos eletrônicos no formato BIM para seus produtos. Os primeiros precisam ser criados apenas uma vez, já no segundo caso, os elementos básicos podem ser fornecidos com alguns parâmetros básicos passíveis de alteração pelos usuários. Entretanto, componentes projetados são mais complexos. Precisam ser projetados, detalhados e fabricados de acordo com pedidos dos clientes, logo os componentes BIM precisam ser desenvolvidos para cada situação e softwares específicos para estes fins podem ser usados (EASTMAN *et al.*, 2008).

#### I. Adoção de sistemas BIM

Garba e Hassanain (2004) acreditam que a adoção de sistemas CAD orientados a objetos pode afetar o ciclo de vida de um projeto de construção estruturando a comunicação. Essa melhora na integração, na comunicação, e na eficiência para lidar com conflitos resultam em um melhor desempenho global. Como cada edificação é única, e a tecnologia da construção tem de lidar com diferentes condições. Componentes e métodos construtivos também variam muito regionalmente, o que quer dizer que, para um sistema OO CAD ser amplamente aceito precisa atender e antecipar as necessidades e condições de design de construção.

Ibrahim (2006) discorre sobre as barreiras de adoção de sistemas BIM pelas empresas, dividindo as dificuldades em duas categorias: barreiras na área do gerenciamento de projetos e barreiras na área de treinamento de pessoal. As principais barreiras de adoção na área de gerenciamento estão relacionadas à falta de conhecimento da tecnologia e à dificuldade da alteração da rotina do escritório. São estas:

- a. escolha do software adequado. Dentre as várias opções oferecidas pelo mercado, muitas vezes o profissional tem dificuldade de escolher a que mais se adapta a seu escritório;
- b. muitas empresas acreditam que BIM é apenas mais um sistema de modelagem 3D, não compreendendo o potencial total do sistema;



- c. o trabalho em conjunto com as outras especialidades (engenharia estrutural, mecânica, etc.) e o uso de diferentes formatos e plataformas por cada uma delas, pode representar um fator de insegurança ao profissional;
- d. mudanças no ritmo de trabalho, visto que sistemas BIM necessitam de maior tempo e mão de obra nas fases iniciais do projeto, e menos nas fases finais de detalhamento, ao contrário dos sistemas CAD convencionais;
- e. seleção do momento ou projeto adequado para desenvolver um projeto piloto para a utilização dos sistemas BIM. O sucesso independe do tamanho ou do orçamento do projeto;
- f. sabe-se da importância da entrega do projeto, independente da ferramenta adotada para realizá-lo. Logo, as empresas precisam ter uma segunda opção caso a conversão para a nova plataforma não ocorra como o esperado, contudo a preocupação excessiva com tal fato pode inviabilizar a transição devido ao dispêndio de tempo e de recursos na elaboração da segunda opção.

A qualificação (ou falta dessa) da mão de obra e de funcionários é um fator que pode trazer dificuldades para as empresas na transição do sistema CAD convencional para o sistema BIM, sendo as principais citadas por Ibrahim (2006):

- a. o uso do CAD convencional. Usuários do CAD convencional têm uma maior dificuldade de compreender e utilizar sistemas BIM do que profissionais que nunca tenham trabalhado com o CAD convencional;
- b. todos os funcionários devem receber treinamento no novo sistema adotado, porém com enfoques diferenciados e de acordo com sua função específica;
- c. quando há a contratação de novos funcionários, estes também devem receber treinamento no novo sistema, para manter a equipe homogênea;
- d. as universidades ainda não oferecem treinamento neste sistema, logo os jovens profissionais chegam ao mercado ainda com a visão tradicional. Porém, muito tem sido feito para mudar este quadro. Empresas de software (em especial sistemas de design e desenho) costumam vender licenças mais baratas para estudantes e universidades, de forma a difundir o produto (BIAGINI, 2007).

Kaner *et al.* (2008) mostraram que o treinamento formal do usuário em BIM é de grande importância para a produtividade, visto que sistemas BIM são mais complexos que sistemas CAD, e explorá-los de forma correta exige treinamento. Por exemplo, antes do treinamento formal, o usuário não sabe exatamente quais objetos devem ser usados em quais situações e as relações entre eles.

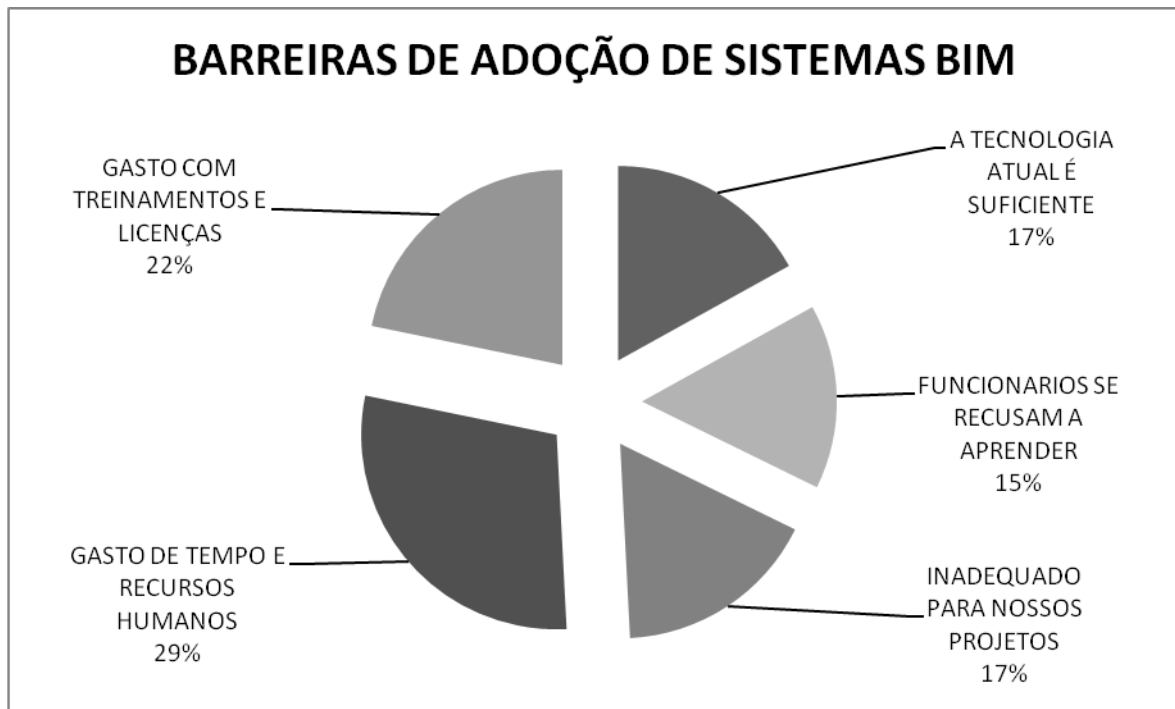
A tecnologia BIM vem ganhando usuários. Ibrahim (2006) acredita que apesar do sistema CAD tradicional estar bem estabelecido, a concorrência e o medo de atrasar-se para adotar uma nova tecnologia têm levado as empresas a tomar a decisão pela utilização de sistemas BIM. As empresas de pequeno porte têm maior facilidade de se adaptar ao novo sistema do que aquelas maiores.

Outra barreira de adoção citada por Singh *et al.* (2008) é o fato de a maior parte do material trocado ainda é em formato 2D, apesar de cada especialidade usar modelos 3D, ainda existe uma falta de confiança na precisão dos modelos tridimensionais. Outro fator que pode dificultar a adoção de sistemas BIM é a falta de bibliotecas de objetos e opções de modelagem.

Na questão do treinamento, Singh *et al.* (2008) mencionam que para a adoção de sistemas BIM deve haver uma redistribuição das funções. Por exemplo, desenhistas podem deixar de existir, sendo substituídos por modeladores.

Em uma tentativa de auxiliar profissionais a lidarem com a nova tecnologia Yoders (2008) sugere que grupos de discussão online são de grande ajuda para profissionais que estejam realizando a transição. Em seu trabalho o autor apresenta exemplos de modelos de grupos formais e informais e de profissionais que se beneficiaram com a ajuda dos grupos.

Yan e Damian (2008) realizaram uma pesquisa com empresas de AEC dos Estados Unidos e do Reino Unido. Dentre os entrevistados, os que não utilizavam sistemas BIM foram questionados acerca de qual era o motivo principal para sua não adoção, sendo apontados os seguintes itens: o fato de a tecnologia em utilização ser suficiente, a recusa dos funcionários em aprender, a inadequação do sistema para os seus projetos, o gasto de tempo e de recursos humanos, o gasto com treinamento e com licenças. Os resultados obtidos pelos autores (2008) são observados no Gráfico 1:



**GRÁFICO 1 – BARREIRAS DE ADOÇÃO DE SISTEMAS BIM**

FONTE: adaptado de Yan e Damian (2008).

Os principais motivos alegados pelos entrevistados foram as preocupações com gastos de tempo, dinheiro e pessoal, o que mostra uma possível falta de conhecimento sobre o assunto, visto que na mesma pesquisa os usuários apontaram como principais vantagens do uso desta tecnologia o fato de poupar tempo, dinheiro e mão-de-obra.

Tratando-se de sistemas de cálculo de estrutura do tipo BIM, Kostura (2007) aponta os motivos pelos quais os profissionais de projeto de estruturas têm relutado em adotá-los:

- a. confusão sobre o que é BIM (sua diferença da modelagem 3D tradicional);
- b. falta de determinação da equipe para o uso do sistema. Mudanças em grande escala feitas no modelo têm grande impacto nos desenhos finais, porém pequenas mudanças não justificavam a alteração do modelo, sendo feitas diretamente no 2D. Assim, o modelo geral ficava desatualizado;
- c. os sistemas presentes no mercado ainda não atingiram um nível de estabilidade aceitável.

## II. Utilização de sistemas BIM

Garba e Hassanain (2004) apresentam como causa de um desempenho fraco da construção civil a falta de integração das partes da indústria, especialmente entre o projeto, a construção, as atividades de gerenciamento e as operacionais, resultando assim em uma comunicação inadequada no ciclo de vida de projeto. CAD orientado por objetos é uma das Tecnologias da Informação que facilitam os processos de distribuição e de coordenação da informação, mantendo em uma mesma base de dados unificada os processos do ciclo de vida do projeto.

Apesar de muitas dessas possibilidades de utilização ainda não estarem plenamente desenvolvidas, os sistemas BIM podem ser utilizados de diversas formas (AZHAR *et al.*, 2008):

- a. visualização: é possível gerar e renderizar modelos 3D facilmente;
- b. fabricação/compras: é possível gerar desenhos, listas e tabelas de compras automaticamente;
- c. inspeções: o corpo de bombeiros e a prefeitura podem utilizar sistemas BIM para avaliar os projetos;
- d. manutenção e reformas;
- e. orçamento: os quantitativos de materiais são extraídos automaticamente e alterados quando alterações são feitas no modelo;
- f. cronogramas da execução;
- g. conflitos e interferências: todos os projetos podem ser visualizados e conferidos para garantir que não exista interferência.

Holzer (2007) acredita que o principal uso e vantagem dos sistemas BIM não seria na fase de projeto, mas sim nas fases posteriores, como checagem de erros, coordenação do canteiro de obras, manutenção etc. O projetista pouco ou nada teria a ganhar com a utilização desses sistemas, pois teria mais trabalho, e como os maiores beneficiados seriam terceiros, este deveria ser pago pelo trabalho extra que facilitaria o trabalho destes últimos. O autor sugere que o modelo de informações é inadequado à fase de criação e de projeto conceitual, e que os sistemas BIM deveriam apenas ser usados depois de definida a geometria básica de um projeto, não sofrendo mais alterações, devendo ser utilizado nas fases finais da construção. Afirma também que o uso de lápis e papel proporciona ao projetista um *feedback* imediato, ao contrário dos sistemas computacionais (HOLZER, 2007).

Ibrahim, Krawczyk e Schipporiet (2003) descrevem como os sistemas BIM influenciam a arquitetura, o processo de design e o escritório:

- a. **a relação de mestre aprendiz:** o jovem arquiteto não precisa de tanto apoio técnico de seus superiores como era necessário antes, visto que o próprio computador dá ao projetista um *feedback*;
- b. **customização:** anteriormente as empresas customizavam seus sistemas CAD 2D para melhor se adaptarem às suas especificações e necessidades. Porém, com os sistemas BIM mais complexos, isto se torna mais difícil;
- c. **evolução dos objetos:** os objetos precisam ter propriedades em branco que possam ser adicionadas enquanto o projeto está sendo desenvolvido. Isto não deve ser limitado a uma série de parâmetros pré-definidos, mas deve ser possível adicionar mais parâmetros se necessário;
- d. **inovação e criatividade:** os softwares atuais não permitem que os projetistas criem seus próprios tipos de objetos diferentes dos convencionais, ou seja, não existem ferramentas versáteis que dêem ao arquiteto esta liberdade e funcionalidade enquanto se utiliza o conceito de objetos;
- e. **dependência da indústria do software:** como as empresas não podem criar novos tipos de objetos facilmente, os usuários precisam esperar a nova versão do software vir ao mercado. Com essa evolução, as necessidades são supridas com o tempo, porém sempre haverá uma necessidade especial que não foi prevista;
- f. **educação e formação do arquiteto:** o estudante de arquitetura precisa ser educado de forma diferente para lidar com a nova ferramenta e ter um bom entendimento da teoria da programação.

De acordo com Azhar *et al* (2008), o benefício principal do BIM é a precisão geométrica em um ambiente de informação integrada. Outros benefícios relevantes são:

- a. processo de projeto mais rápido e eficiente visto que a informação é compartilhada mais facilmente;
- b. um projeto básico melhor, visto que vários anteprojetos podem ser analisados e simulações podem ser feitas facilmente, permitindo soluções melhoradas e inovadoras;

- c. controle de custos durante todo o período da obra;
- d. melhor serviço para o consumidor, visto que este pode visualizar e entender melhor o projeto;
- e. a informação do sistema BIM pode ser utilizada durante toda a vida útil da edificação.

Já Gao, Mahalingam e Nguyen (2008) lembram que uma das vantagens mais interessantes do uso de BIM é a garantia de consistência entre as partes do projeto, facilitando sua automação, isto porque todos os desenhos (arquitetônico, estrutural, hidráulico, elétrico e mecânico) são gerados e salvos no mesmo modelo.

Yan e Damian (2008) realizaram uma pesquisa com empresas de AEC dos Estados Unidos e Reino Unido, dentre os entrevistados, os que conheciam sistemas BIM foram questionados acerca de quais benefícios da sua utilização consideravam mais significativos. Os seis itens observados como vantagens dos sistemas BIM foram: criatividade, sustentabilidade, aumento de qualidade, redução de recursos humanos, de custos e de tempo. Os resultados obtidos são observados no Gráfico 2:

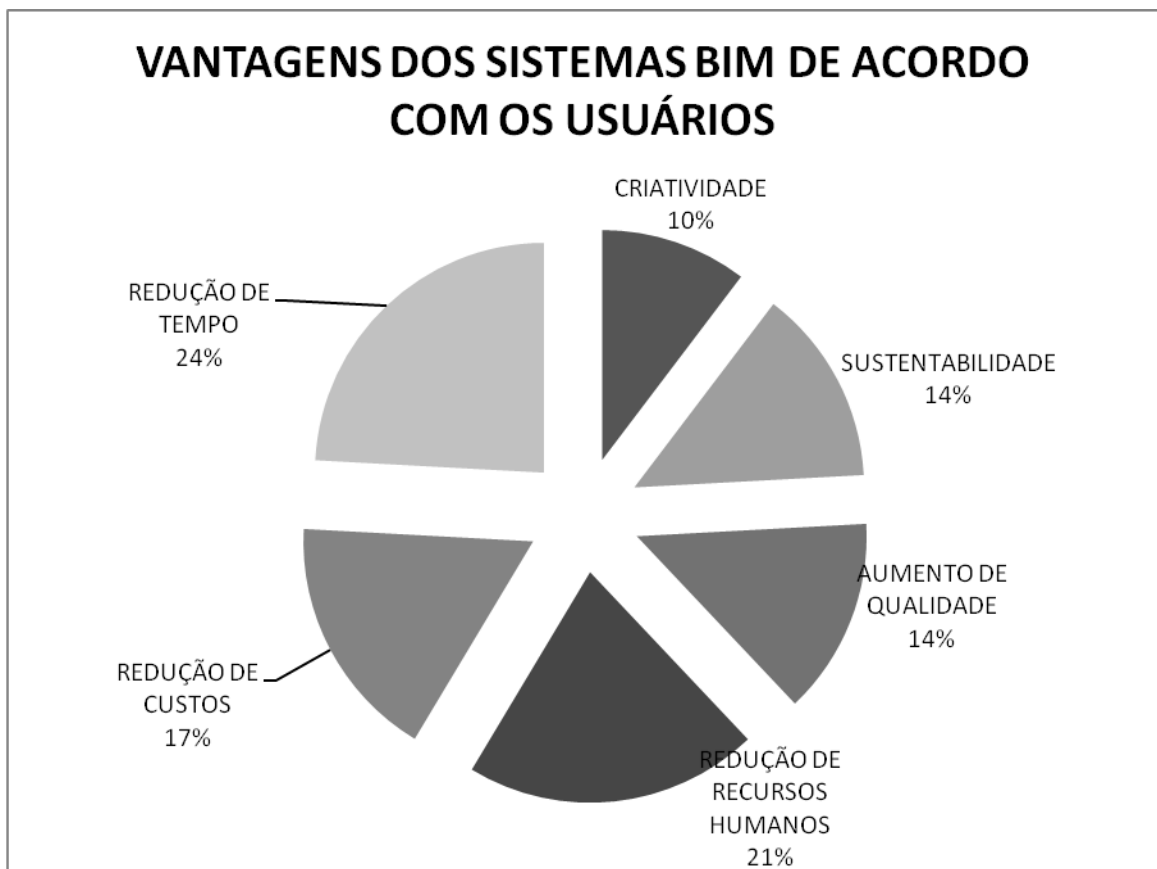


GRÁFICO 2 – VANTAGENS DE SISTEMAS BIM DE ACORDO COM OS USUÁRIOS  
FONTE: adaptado de Yan e Damian (2008).

Percebe-se que, para os usuários as maiores vantagens dos sistemas BIM são a redução da mão-de-obra e do tempo de trabalho, não sendo consideradas importantes as características sustentabilidade, aumento de qualidade e criatividade.

## 2.4 SISTEMAS CAD DE PROJETO ESTRUTURAL

### 2.4.1 O projeto estrutural

Um projeto estrutural bem elaborado mostra-se de grande importância, visto que, segundo Silva e Souza (2003) o custo da estrutura de um edifício pode variar de 20% a 30% (edifícios residenciais e comerciais). Sabendo-se que o projeto pode influenciar significativamente no custo final da estrutura, fica evidente a importância deste ser eficiente e bem elaborado.

O projeto estrutural deve respeitar ao projeto arquitetônico em sua forma e estética, e a arquitetura deve apresentar soluções estruturais viáveis (CORRÊA; NAVEIRO, 2001). Já Stramandinoli (2007) afirma que, muitas vezes, algumas soluções estruturais são tão dispendiosas e complexas, que é necessário solicitar ao projetista arquitetônico modificações em parte ou até no todo do projeto.

De acordo com Carvalho e Figueiredo (2007), dimensionar uma estrutura significa garantir que ela suporte os carregamentos e solicitações a que está submetida sem rupturas ou deformações excessivas.

Ao iniciar um projeto estrutural, o engenheiro calculista necessita de vários documentos para começar o lançamento da estrutura. São esses: o projeto arquitetônico, o levantamento plano altimétrico do terreno e um estudo geotécnico preliminar do subsolo. Reuniões com o arquiteto e os demais projetistas envolvidos (hidráulico, elétrico, de ar condicionado etc.) também são importantes para estudar a compatibilização de todos estes projetos. Um projeto estrutural é constituído por várias partes, sendo as mais importantes a planta de locação de pilares e suas respectivas cargas, as pranchas de formas (com cortes, seções, detalhes, especificações etc.), as pranchas com o detalhamento de armaduras dos elementos

construtivos e as tabelas com o quantitativo dos materiais (STRAMANDINOLLI, 2007).

No início da concepção do projeto estrutural são tomadas as decisões mais importantes. Com o lançamento da estrutura são definidas as soluções para vários elementos estruturais, é determinado o custo e são apurados os principais pontos de dificuldade na compatibilização. Nesse estágio são definidas as condições que garantirão um bom funcionamento da estrutura. Uma idealização deficiente conduz a problemas de fissuração, durabilidade e manutenção, mesmo que adote meios de cálculo sofisticados e o projeto esteja adequado à norma (CORRÊA; NAVEIRO, 2001).

### III. Estruturas metálicas e estruturas de concreto armado

Estruturas metálicas têm perfis padronizados, sendo o maior nível de detalhe encontrado nas juntas e ligações. Já nas estruturas de concreto, as dimensões variam de acordo com cada projeto, assim como a quantidade de armaduras. Isso aumenta o número de combinações possíveis e de opções de detalhamento. Logo percebe-se a vantagem de permitir que o usuário desenvolva componentes padronizados e defina suas opções de detalhamento por meio de modeladores BIM (LEE *et al.*, 2006). Já Carvalho e Figueiredo (2007) descrevem o concreto armado como a combinação estrutural do concreto e do aço por meio da aderência entre ambos. Esta combinação é importante visto que, apesar de o concreto apresentar alta resistência à compressão, o mesmo não resiste à tração.

De acordo com Carvalho e Figueiredo (2007) as vantagens da utilização do concreto armado sobre outros sistemas estruturais são a boa trabalhabilidade (ou seja, adaptabilidade a formas diferentes), a possibilidade de criação de estruturas monolíticas, o domínio das técnicas de execução no Brasil, a durabilidade, a viabilidade econômica (competindo com o aço em diversas situações), a maior resistência ao fogo em relação ao aço e à madeira e a alta resistência a outros fatores como vibrações, variações térmicas, choques etc.

Apresenta, porém, desvantagens: quando comparado ao aço, apresenta peças maiores e mais pesadas; reformas e mudanças são complexas; conduz bem o calor e o som, e por isso pode necessitar de revestimentos que ajudem a combater estes problemas. O concreto também necessita de fôrmas e escoramentos, que



podem ser apenas retirados depois de um período de endurecimento do mesmo (CARVALHO; FIGUEIREDO, 2007).

#### **2.4.2 Sistemas CAD de projeto estrutural**

Carvalho e Figueiredo (2007) definem sistema estrutural como um conjunto de elementos estruturais. Como a análise de um sistema estrutural completo é um procedimento complexo, estes podem ser discretizados em elementos estruturais, de forma a facilitar a análise e o detalhamento do mesmo. Com a utilização da TI, porém, essa discretização não se torna mais necessária, permitindo um estudo global da edificação.

O sistema adotado para o projeto estrutural de um projeto é de considerável importância, visto que sua capacidade é que define a complexidade do processo. Por exemplo: pode-se calcular o mesmo modelo como uma estrutura de viga apoiada em viga ou por pórtico espacial, ou ainda calcular lajes da maneira tradicional ou por grelha (STRAMANDINOLI, 2007).

Lourenço *et al.* (1997) apontam como a utilização indiscriminada de sistemas de CAD de projeto estrutural onde o operador não tem necessidade de interferir diretamente nos resultados pode acarretar na perda de sensibilidade estrutural. Devido à pressão de prazos curtos e de redução de custos, muitas vezes os resultados gráficos não são verificados e conferidos. Assim, são encontrados projetos com erros graves e insuficientemente detalhados.

Atualmente, projetistas internacionais estão em transição, adotando e aprendendo a usar a nova geração de modeladores paramétricos, como *Revit*, *ArchiCAD*, *Bentley Architecture* e *Digital Projects*. Outros sistemas que também estão sendo utilizados são os mais voltados para os fabricantes como *Tekla Structures*, *Structutreworks*, *SDS/2*, *CADDuct*, *CADpipe* e outras. (JEONG *et al.*, 2009).

Coenders (2007) discute a dicotomia que os projetistas encontram quando trabalham com sistemas CAD de projeto de estruturas. Alguns têm precisão e capacidade de processamento e análise de esforços, como é o caso do Ansys ou SAP. Outros têm, porém, melhor desempenho no gerenciamento, na organização e

no detalhamento de informações, que é o caso de sistemas BIM como o *Revit Structure* ou o *Virtual Construction*.

Em pesquisa realizada por Stramandinoli (2007), constatou-se que 75% das empresas entrevistadas utilizam o sistema CAD de projeto estrutural TQS, 12,5% utilizam o Eberick e 12,5% utilizam o Building.

Quanto ao grau de satisfação dos usuários, Stramandinoli (2007) afirma que estes ainda não estão totalmente satisfeitos com os sistemas adotados (em especial quanto ao desenho de escadas e blocos de fundação), evidenciando que os sistemas ainda não resolvem todas as etapas do projeto estrutural do edifício, e precisam evoluir em certos quesitos para atender plenamente os usuários.

#### IV. Forma de utilização dos sistemas CAD de projeto estrutural

Após definida e pré dimensionada uma estrutura, inicia-se o processo de entrada de dados no sistema. Cada software exige um método de entrada de dados específico, porém sempre deve ser lançada a estrutura com seu carregamento (nesta fase é essencial que o projeto arquitetônico tenha uma perfeita interação com o modelo estrutural). Após essa etapa, o projetista deve aferir os resultados obtidos no cálculo efetuado pelo sistema. Conferidos os resultados, inicia-se o processo de extração das pré-fôrmas e de conferência das mesmas. Também se deve extrair o desenho de locação e de cargas dos pilares para que o engenheiro geotécnico possa elaborar o projeto de fundações. Na fase seguinte, a fôrma definitiva deve ser desenhada e as armaduras calculadas e detalhadas pelo computador. Finalmente é feita uma correção de todos os elementos estruturais e suas armaduras, estando assim, o projeto pronto para ser enviado ao cliente (STRAMANDINOLI, 2007). O processo descrito pelo autor pode ser observado no fluxograma da Figura 3.

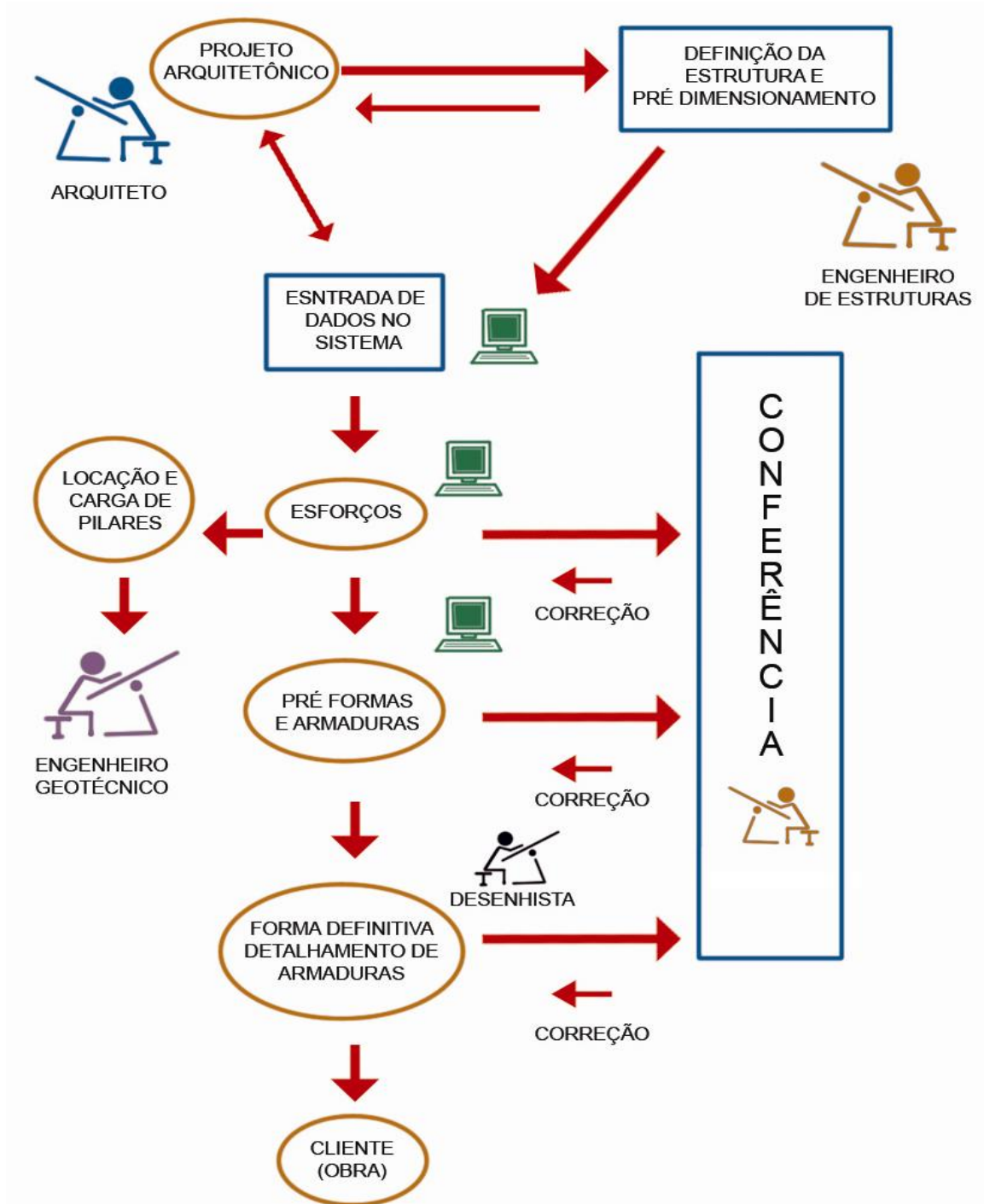


FIGURA 3 – FLUXO DO PROCESSO DE PROJETO ESTRUTURAL BASEADO EM: Stramandinoli (2007).

Pode-se perceber que a comunicação do engenheiro de estruturas com o arquiteto na fase inicial do projeto é essencial, visto a importância da compatibilização do projeto estrutural com o projeto arquitetônico. Na fase de lançamento da estrutura no sistema computacional essa comunicação continua

importante. O projeto ainda passa por uma série de conferências e de correções até estar pronto para ser enviado ao cliente.

Ao utilizar um sistema computacional para realizar um cálculo estrutural, o projetista deve atentar para alguns fatores causadores de erro:

- a. enganos na introdução dos dados;
- b. desconhecimento dos parâmetros utilizados pelo fabricante do software;
- c. erros de programação.

(LOURENÇO *et al.*, 1997).

## V. Sistemas de projeto estrutural do tipo BIM

A modelagem de estruturas em modeladores BIM apresenta os seguintes pontos positivos: os resultados e soluções são armazenados diretamente no modelo 3D, de forma que fiquem disponíveis sem que o usuário tenha que reinserir a informação; é possível realizar conferências diretamente no modelo 3D e automatizar os quantitativos e numeração dos elementos (SACKS; BARAK, 2008).

Sacks *et al.* (2008) afirma que detalhar e projetar estruturas de concreto é viável com modeladores BIM. Toda a informação necessária para coordenação do projeto pode ser gerada por meio do uso de ferramentas BIM. Em seus experimentos com modelagem BIM de estruturas de concreto pré-moldado, Sacks e Barack (2008) concluíram que a produção de pranchas e desenhos consome 60% do tempo utilizado no projeto, enquanto com a utilização da modelagem 3D existe uma economia de 21,66%. Os cálculos de quantitativos puderam ser quase totalmente automatizados, visto que o sistema é automatizado nestes processos. Nas fases de familiarização e de projeto conceitual não existiu nenhum ganho, visto que nelas a interação com a máquina é pequena. Já na fase de coordenação de projetos obteve-se ganhos de até 20% de tempo.

Ferramentas BIM estão disponíveis para estruturas de aço e de concreto pré-moldado, porém para estruturas de concreto armado *in loco*, os sistemas ainda encontram-se rudimentares. Um dos motivos é que estruturas de concreto *in loco* não são fortemente definidas por componentes (ao contrário do que acontece em estruturas de aço e pré-moldadas que apresentam essa definição de forma mais clara). Por exemplo: nem sempre é possível determinar onde acaba uma viga e começa uma laje, e nem sempre é possível definir onde acaba a mesma viga e

começa o pilar. Isso se dá pelo fato de que esta separação é apenas conceitual, e não física (BARAK *et al.* 2009).

As empresas de estrutura metálica já realizam projetos utilizando sistemas paramétricos desde a década de 1990, porém algumas empresas começam a enxergar a vantagem de se projetar estruturas de concreto pré-moldado com sistemas paramétricos. A ideia de pré-construir o projeto em um modelador BIM ajudaria a garantir que a geometria, os detalhes e as conexões no modelo estivessem corretamente posicionadas. Esta coordenação poderia diminuir erros. Isto é bastante interessante, considerando que durante o processo de fabricação e montagem de estruturas de concreto pré-moldado os erros são muito custosos, logo, gasta-se muito tempo no processo de checagem de desenhos. Esta dificuldade provém da necessidade de usar desenhos 2D para visualizar estruturas 3D e da dificuldade de se coordenar vários desenhos (KANER *et al.*, 2008).

As empresas de projetos de estruturas estudadas por Kaner *et al.* (2008) decidiram utilizar BIM para revisar conflitos e evitar futuras complicações. A utilização do sistema ajudou a reduzir desalinhamentos, conflitos geométricos e problemas com a arquitetura. Em curto prazo, isso diminuiu a necessidade de revisões e de conferências dos desenhos. A equipe de montagem relatou a ausência de erros nos desenhos na hora da montagem. Outros objetivos de uma delas eram: facilidade de mudanças, aumento da produtividade (com a produção de listas de materiais e desenhos automaticamente) e melhor visualização da estrutura (2008).

A empresa KD&A, de cálculo estrutural, em sua primeira tentativa de utilização de BIM exportou os desenhos finais para um sistema CAD para retoques e acréscimo de detalhes específicos do fabricante. Em outro projeto, a empresa decidiu utilizar um modelador BIM porque, utilizando os sistemas CAD tradicionais, seria impossível cumprir os prazos definidos. Esta utilizou o modelo em reuniões com o fabricante, proprietário e arquiteto para revisar detalhes. Foi possível projetar e calcular o edifício usando apenas um software. Uma vez completo o modelo, os detalhamentos foram gerados no próprio programa e os detalhes do fabricante foram importados para o modelador BIM. Foram gastos de 5 minutos a 2 horas por desenho, dependendo da complexidade da peça. Normalmente em um sistema CAD tradicional seriam gastas de 4 a 8 horas por desenho. Quando houve necessidade de modificações, as mudanças foram feitas no próprio modelo e os desenhos foram atualizados automaticamente (KANER *et al.*, 2008).

## 2.5 INTEROPERABILIDADE

Entende-se por interoperabilidade a capacidade de comunicar dados por meio de e entre diferentes sistemas e de reutilizar a informação. No desenvolvimento de projetos, a falta de padronização faz com que dados deixem de ser compartilhados. Não existe uma padronização da comunicação entre projetistas para o estudo das interferências entre projetos. Alguns desses procedimentos, todavia, podem ser automatizados, abrindo caminho para transferência de informações via *World Wide Web* (Web) (JACOSKI, 2003).

A falta de interoperabilidade, segundo Jacoski (2003), é um problema que deve ser estudado pela indústria de software e pelos usuários dos sistemas. Para que um software possa ser considerado interoperável, deve apresentar as seguintes características:

- a. abertura para que os usuários criem aplicações que possam ser integradas aos sistemas;
- b. capacidade de troca de informações entre sistemas;
- c. uniformidade, de modo que utilizem padrões já conhecidos pelos usuários;
- d. simplicidade, o que facilita o aprendizado de operação do sistema;
- e. transparência, de modo a reduzir a informação a apenas um formato;
- f. similaridade entre os sistemas (utilização das mesmas convenções).

Ainda segundo Jacoski (2003), nos projetos CAD tradicionais a interoperabilidade já era um problema, visto que grande parte dos projetos é desenvolvida em plataformas proprietárias, utilizando linguagens e códigos divergentes. A solução mais inteligente seria o uso de arquivos com formatos neutros, dentre os quais os mais usados são *Drawing Exchange Format* (DXF) e DWG (do qual a Autodesk é proprietária). Podem ocorrer, porém, problemas frequentes nas transferências realizadas em DXF, visto que é um formato muito simples e que permite perda de detalhes.

De acordo com Froese (2003), normalmente a informação pode ser transferida de um projetista para outro por meio de documentos em papel ou meio eletrônico, que pode ser entendido apenas por pessoas. Assim, a informação precisa ser reinserida em outros programas computacionais. Nesse processo, falhas

e erros podem ocorrer, logo se pode perceber a importância da interoperabilidade. De acordo com o autor, interoperabilidade é a capacidade de a informação passar de um programa computacional para outro através de todo o ciclo de vida do projeto. Para isso, é necessária a adoção de padrões pela indústria AEC.

Froese (2003) divide a informação de um objeto BIM em duas categorias: de produto e não-produto. Informações de produto são aquelas relacionadas ao modelo em si, como geometria e materiais. Esta área é bem desenvolvida no IFC. A informação não-produto (documentos, tabelas, orçamentos, simulações etc.), contudo, precisa de desenvolvimento.

De acordo com Froese (2003) duas partes trocando informações ainda precisam definir que informação precisa ser trocada, quem deve recebê-la, para quais propósitos, etc. O autor sugere que isso seja formalizado e padronizado na indústria AEC, visando automatizar o processo.

### 2.5.1 IFC

A *Building Smart* é uma instituição sem fins lucrativos, criada em 1994, que tem por objetivo promover a interoperabilidade entre softwares AEC e a cooperatividade entre os fabricantes dos diferentes pacotes de softwares (IBRAHIM *et al.*, 2004a). E “sua principal missão é definir, publicar e promover especificações para classes de objetos da indústria da construção.” (JACOSKI, 2003).

O *Industry Foundation Classes* (IFC) é a proposta da *Building Smart* para os problemas de interoperabilidade, e se trata de um modelo de dados aberto para a indústria AEC. Seu objetivo é padronizar as classes dos sistemas orientados por objetos em um modelo aberto de forma que vários aplicativos possam utilizá-lo para compartilhar dados (NASCIMENTO, 2004).

Ao contrário de sistemas que trocam de informações baseadas em primitivos geométricos (.dxf, .iges, .dwg, .opendwg), onde a interpretação da informação é responsabilidade de profissionais, a troca de informações estruturada permite a “preservação do significado”, dentro das ferramentas de projeto. Isto é o que acontece com as ferramentas IFC (PAZLAR; TURK, 2008).

Jacoski (2003) afirma que os fabricantes de software utilizam o IFC por ser um padrão neutro (visto que foi criado pela *Building Smart* e esta não possui fins lucrativos) e logo deve ser adotado como padrão pela indústria da construção civil. O IFC define os elementos de um modelo por meio de um padrão orientado por objetos, que pode ser transferido entre sistemas capacitados para operar com IFCs. Estes reduzem trabalhos de entrada e de saída de dados de forma manual, evitando inclusive a perda de informações no processo.

A linguagem *Extensible Markup Language* (XML) é outra opção para a integração de sistemas. Tem como característica principal a descrição de informações, o que a torna útil para seu armazenamento e transmissão. Na linguagem XML, o programador elabora suas próprias marcações. Esta linguagem tem uma estrutura simples e bem formada, sobre a qual outras aplicações podem ser desenvolvidas (JACOSKI, 2003).

Ainda segundo Jacoski (2003), o sistema ifcXML tem o objetivo de possibilitar as trocas de arquivos IFC definidos em linguagem XML, e permitir a utilização deste conteúdo, gerado em XML, em outros sistemas e estruturas de troca e compartilhamento de dados. Uma grande vantagem da XML é que esta é passível de ser utilizada na maioria dos sistemas de troca de informações, como bancos de dados, *browsers*, *waps* etc.

A grande disparidade entre as maneiras pelas quais arquivos IFC podem ser exportados para um mesmo modelo demonstra a necessidade de padrões BIM, que definam quais objetos IFC devem ser usados para representar certos elementos dentro do modelador BIM proprietário (JEONG *et al.*, 2009). Para corrigir estas dificuldades, a *Building Smart* utiliza três documentos básicos em seus estudos de interoperabilidade: *Process Models*, *Functional Parts* e *Exchange Requirements*.

Os *Process Models* definem os caminhos e fluxos de informação dentro de um projeto. Auxiliam na compreensão de quais informações são transferidas em cada etapa do projeto. A Figura 4 exemplifica um *Process Map* retirado do documento *pm\_structural\_engineering* da *Building Smart* (BUILDING SMART, 2010).



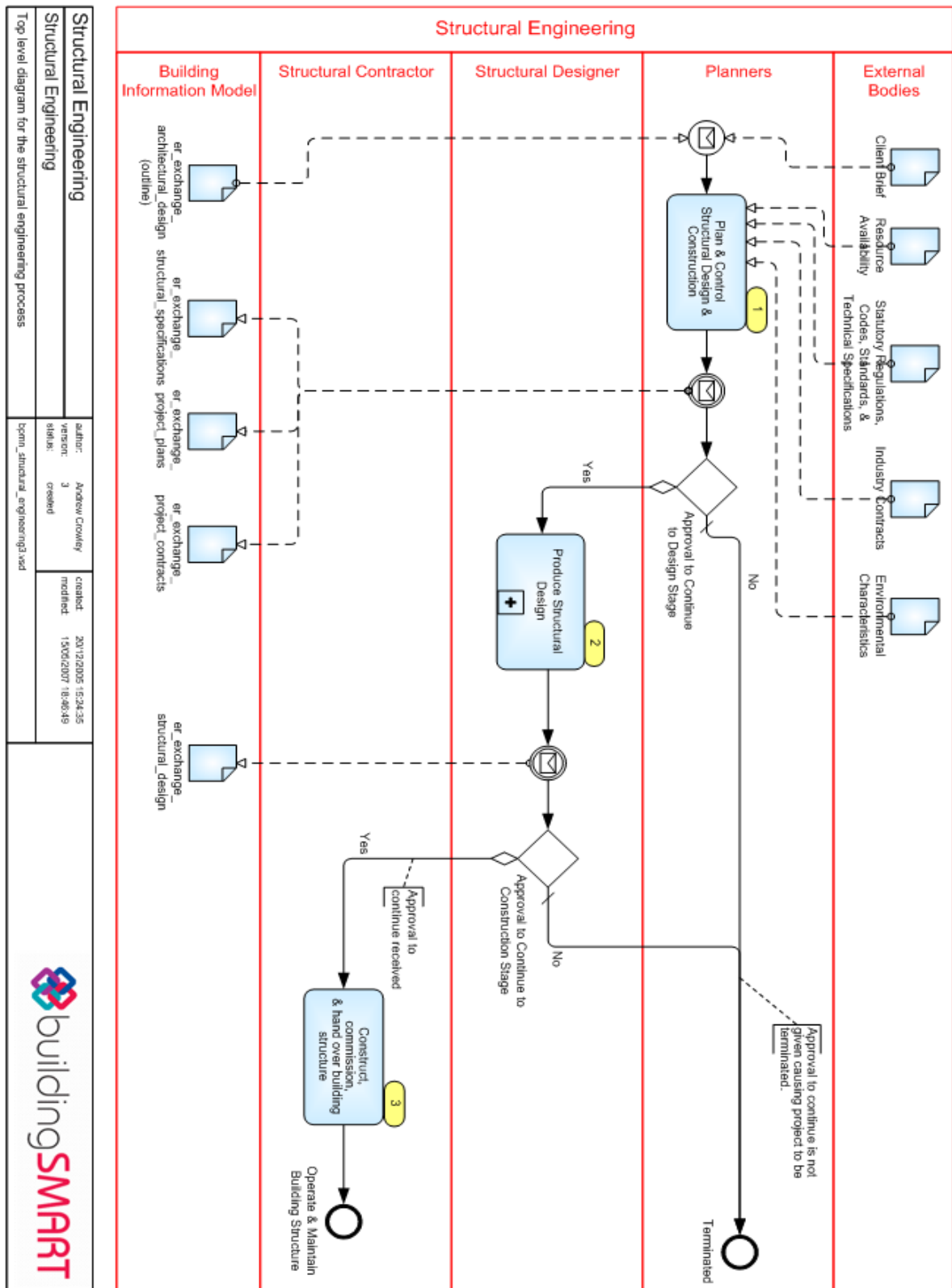


FIGURA 4 – PROCESS MAP – BUILDING SMART  
 FONTE: BUILDING SMART, 2010.

Enquanto os *Process Models* definem o fluxo de informações, os *Exchange Requirements* definem quais informações precisam ser trocadas em cada fase do

projeto. Muitas vezes a informação fornecida em cada fase é essencialmente a mesma, variando a quantidade de detalhes e precisão (BUILDING SMART, 2010).

As *Functional Parts* definem que informações deve conter cada parte do projeto a ser transferida. Por exemplo, que informações uma viga deve trazer do sistema de origem para o IFC. Algumas são consideradas opcionais, enquanto outras, obrigatórias. Outros documentos também importantes são os *Functional Requirements* e os *User Requirements* (BUILDING SMART, 2010).

Os *Functional Requirements* definem as qualidades e os comportamentos que sistemas devem apresentar para possibilitar a geração da geometria e a manipulação de outras informações. Eles são formalmente expressos na forma de esquemas de objetos, que incluem relações, atributos e métodos. No estudo de interoperabilidade de sistemas, também é necessário estudar os *User Requirements*, que são descrições de várias atividades de engenharia, de gerenciamento e de construção promovidas por todos os atuantes no processo, as informações de que necessitam e as saídas que esperam (BARAK *et al.*, 2009).

Segundo Pazlar e Turk (2008), a especificação do IFC desenvolvida pela *Building Smart* iniciou-se da ideia de representar toda a informação do ciclo de vida do edifício. Porém, o IFC ainda não cobre completamente todos os elementos construtivos devido a complexidades da indústria da construção civil, sendo elas:

- a. fragmentação da indústria, produtos únicos, o nível de detalhamento dos sistemas BIM não é o adequado para todos os participantes da indústria, mentalidade tradicionalista e necessidade cada vez maior de informações;
- b. na certificação IFC promovida pela *Building Smart* existe uma certa concessão entre o nível de exatidão e os custos de testes de interoperabilidade. Logo, o usuário não pode confiar inteiramente no processo de mapeamento e deve conferir os resultados manualmente;
- c. os elementos arquitetônicos foram os primeiros a serem incluídos nas especificações IFC, logo este é o domínio mais completo e preciso do mesmo.

Em experimentos de interoperabilidade envolvendo modeladores BIM e arquivos IFC realizados por Pazlar e Turk (2008) perceberam-se algumas falhas, em especial: distorção da geometria, acessórios de partes não presentes, conexões incorretas, mudança de forma do objeto, mudança de cor dos elementos, mudança

de material (ou não preservação do original), mudança de posição e formas de objetos.

As entidades IFC podem ser identificadas como únicas durante todo o ciclo de vida com o *Genuine Unique Identifier* (GUID). Apesar de os GUIDs deverem permanecer únicos durante as trocas de arquivos entre os sistemas, os mesmos nem sempre preservam as suas informações (PAZLAR; TURK, 2008).

### **2.5.2 Testes de interoperabilidade IFC**

Geralmente dois métodos não-visuais podem ser utilizados quando se analisa modelos IFC: texto direto ou objetos diretos. Como o texto pode variar, o melhor método é a comparação por objetos (PAZLAR; TURK, 2008).

O procedimento de certificação da *Building Smart* apresenta uma combinação de testes visuais e sintáticos. No primeiro momento, modelos originados em uma aplicação são exportados e importados dentro da mesma aplicação e depois exportados para outras aplicações. O processo de certificação representa o trabalho real. Pode-se exportar casos simples, como uma parede, uma parede com abertura, e de modelos completos mais complexos, como um edifício comercial. Os testes com modelos complexos permitem avaliar a interoperabilidade de um sistema de forma mais realista (PAZLAR; TURK, 2008).

### **2.5.3 Interoperabilidade de sistemas CAD de projeto estrutural**

Em um modelador BIM atuando em conjunto com um sistema CAD de projeto estrutural, o modelo arquitetônico é atualizado de acordo com as necessidades da estrutura, por exemplo, ajustando a largura das paredes onde existam pilares que tenham sofrido alguma modificação (IBRAHIM *et al.*, 2004a).

De acordo com Gao, Mahalingam e Nguyen (2008), o modelo ideal de integração usando BIM é aquele que pode desenvolver modelos estruturais que possam ser acessados e usados por qualquer parte envolvida no projeto.

A interoperabilidade em sistemas de projetos de estruturas tem sido estudada pela *Building Smart* através dos projetos *structure* (ST). O grupo ST-1 dava ênfase às estruturas metálicas, ST-2 às estruturas de concreto armado, ST-3 às estruturas de concreto pré-moldado, ST-4 ao cálculo e análise de esforços, ST-5 a estruturas de madeira e o ST-6 retomava as estruturas de aço (SERROR *et al.*, 2006). O mais recente dos projetos, ST-7, continua o trabalho desenvolvido no ST-4, em especial na análise de elementos finitos.

Na pesquisa realizada por Stramandinoli (2007), foram analisados cinco sistemas CAD de projeto estrutural. No quesito interoperabilidade com outros sistemas, foi constatado que apenas dois sistemas têm entrada e saída de dados em formato DXF, e outros dois, entrada e saída de dados tanto em DXF quanto em DWG. Um dos sistemas não realiza interação com nenhum outro.

Sacks *et al.* (2008) demonstraram que o nível de interoperabilidade de ferramentas BIM na área de cálculo estrutural ainda é baixo. Muito trabalho tem sido feito no sentido de melhorar esta situação, e os autores afirmam ainda que as dificuldades encontradas para o uso eficaz de IFCs podem ser facilmente resolvidas. São elas: o uso não uniforme das ferramentas BIM, o mapeamento não uniforme de objetos IFC, as variações nas representações geométricas e objetos de domínios específicos faltantes nos IFC.

Barak *et al.* (2009) especificam e descrevem alguns *User Requirements* para concreto *in loco*:

- a. representação de volumes de conexão: é comum em modelagem BIM a utilização de extrusão para compor os elementos estruturais, porém a simples extrusão é insuficiente para atividades como detalhamento de armaduras, de formas, preparo do planejamento e das planilhas quantitativas. Para permitir a representação de estruturas monolíticas de concreto *in loco*, os volumes destas interseções nas estruturas devem ser definidos explicitamente. A maneira como as peças são reconstituídas para cada função é determinada por um conjunto de regras que devem ser passíveis de configuração pelo usuário, pois isto depende dos métodos de cálculo e construção adotados por cada profissional. O usuário também deve poder alternar entre as visualizações destas diferentes possibilidades, por exemplo: em um leiaute de armaduras, a

viga se estende até o final, cortando o pilar. Já em um leiaute quantitativo, o pilar segue, e a viga termina na sua face;

- b. manipulação paramétrica e geometria especial: a maioria das estruturas de concreto armado apresenta geometria retilínea e plana, visto que as fôrmas necessárias são fáceis de fabricar com essas geometrias. Em muitos casos, porém, uma geometria mais complexa pode ser utilizada. Visto que esta geometria é flexível, representá-la unicamente com extrusão de prismas se torna difícil. Uma maneira de manipular essas geometrias de maneira fácil e mantendo suas propriedades paramétricas se faz necessária. As geometrias finais ainda devem seguir certas restrições de maneira que seja possível criar fôrmas para as mesmas;
- c. concretagem em estágios: para definir planos de trabalho para a construção, é preciso definir o início, a parada, e as juntas de concretagem. Uma vez definidos, um modelador BIM pode gerar um planejamento diário ou semanal, porém o usuário deve definir os planos das juntas de concretagem.

Em experimentos com sistemas estruturais de modelagem de concreto é necessário estar atento a outros fatores específicos, como mostraram Jeong *et al.* (2009). Alguns deles:

- a. muitas vezes, no processo de importação e exportação entre estes sistemas, um elemento perde o significado e o comportamento paramétrico, porém mantém a geometria;
- b. outro problema acontece quando a geometria é mapeada de forma diferente pelo tradutor da forma que foi modelada, prejudicando o arquivo traduzido. Às vezes o arquivo IFC não permite a mesma complexibilidade de linhas e curvas presentes no sistema original. Por exemplo, uma *Spline* acaba por ser representada por uma *ifcPolyLoop*;
- c. muitas vezes o arquivo produzido em um modelador BIM arquitetônico é enviado para um sistema CAD de projeto de estruturas apenas como referência, não podendo ser editado;
- d. outras vezes os parâmetros atribuídos a elementos estruturais (e essenciais para sua fabricação) não são exportados para o modelador

BIM arquitetônico. Alguns sistemas não exportam propriedades definidas pelo usuário;

- e. no caso de estruturas de concreto pré-moldado que trabalham com perfis padrão, esses devem estar inseridos em catálogo.

Além do formato IFC, existem outros formatos de transferência de informações estruturais entre os sistemas, porém muitos deles são próprios apenas para estruturas de aço:

- a. *CIMsteel Integration Standards* (Cis/2) – o formato Cis/2 - *CIMsteel Integration Standards* foi desenvolvido para facilitar o compartilhamento de informações relativas a planejamento, projeto, cálculo e construção de estruturas metálicas (ROBINSON, 2008);
- b. *Steel Detail Neutral File* (SDNF) - formato para troca de dados entre o engenheiro de cálculo e análise de estruturas e o engenheiro de design e projeto de estruturas metálicas (ROBINSON, 2008);
- c. DWG, DNG e DXF – principalmente usados para transferir desenhos 2D ou arquivos 3D como referência. O primeiro é o formato proprietário da Autodesk, o segundo da MicroStation e o terceiro é um formato livre (ROBINSON, 2008). Na pesquisa realizada por Stramandinoli (2007), foram analisados cinco sistemas CAD de projeto estrutural. No quesito interoperabilidade, foi constatado que dois sistemas apenas possuem entrada e saída de dados em formato DXF, enquanto outros dois têm entrada e saída de dados tanto em DXF quanto em DWG. Um dos sistemas não realiza interação com nenhum outro;
- d. *Application Program Interface* (API) - atuam como veículos, para a transferência de geometria 3D ou variáveis de objetos entre aplicativos. É uma espécie de biblioteca de programação. Usando os API, desenvolvedores externos podem escrever e ligar aplicações remotas a um modelo ou a um programa (ROBINSON, 2008);
- e. .NET - plataforma flexível de programação, sobre a qual é possível construir APIs. Com a utilização de aplicativos .NET é possível transferir informação entre sistemas programados em linguagens diferentes e o Microsoft Office, ou seja, ligar uma planilha Excel (programada em *Visual Basic*) e um arquivo de um programa como o Tekla Structures, programado em C#. (ROBINSON, 2007; ROBINSON, 2008).

## 2.6 TRABALHOS CORRELATOS

Pode-se citar como semelhante ao trabalho aqui proposto, o estudo realizado por Jeong *et al.* (2009), que realizaram testes de interoperabilidade de uma estrutura mista (concreto pré-moldado, estrutura metálica e concreto *in loco*). Nos experimentos realizados por estes, o modelo estrutural foi exportado para IFC, aberto no próprio programa e posteriormente nos demais sistemas.

Pazlar e Turk (2008) avaliaram a interoperabilidade de três modeladores BIM de arquitetura, considerando principalmente a geometria. Os autores não consideraram os resultados satisfatórios, sugerindo que a interface com o IFC seja mais desenvolvida.

Wan, Chen e Tiong (2004) fizeram testes de interoperabilidade utilizando IFC entre um modelador BIM arquitetônico e um sistema de projeto de estruturas: SAP 2000. Como esse último não lê diretamente arquivos IFC, os autores tiveram de usar um arquivo de texto do tipo S2K para fazer esta intermediação. Estes descobriram algumas falhas, por exemplo: o modelo IFC não tratava algumas informações, como cargas de protensão e certos tipos de combinações de cargas. Ao final os autores fizeram sugestões de melhorias para o formato IFC.

Nacionalmente pode-se citar o trabalho de Andrade e Ruschel (2009), que realizaram testes semelhantes aos de Jeong *et al.* (2009), porém com foco em projetos arquitetônicos.

O presente estudo se enquadra na sequência destes aqui citados, utilizando alguns dos métodos empregados por estes, porém com maior foco no projeto de estruturas concretadas *in loco*.

## 2.7 CONSIDERAÇÕES SOBRE O REFERENCIAL TEÓRICO

Sobre sistemas BIM pode-se concluir que estes se diferenciam dos sistemas CAD tradicionais por serem orientados por objetos, e não por entes geométricos primitivos. Isto permite a geração automática de informações, como tabelas, listas,

orçamentos, plantas, cortes e elevações. Logo as informações geradas são mais confiáveis e consistentes.

Apesar de suas vantagens, os sistemas BIM ainda não têm sido amplamente utilizados. A principal barreira de adoção é a falta de conhecimento dos profissionais sobre suas possibilidades e benefícios.

No início do processo de cálculo estrutural o engenheiro deve observar a compatibilização com o projeto arquitetônico, definir a estrutura e realizar o pré-dimensionamento desta, para somente então passar à entrada de dados no computador. Assim, os sistemas CAD de projeto estrutural podem influenciar o resultado final. Durante o processo de cálculo, o engenheiro estruturista deve efetuar diversas conferências (desde esforços, até formas e armaduras geradas pelo computador).

O reuso de informações e a comunicação de dados entre diferentes sistemas chama-se interoperabilidade. Para auxiliar este processo a *Building Smart* propôs o modelo de dados aberto IFC. A interoperabilidade de sistemas de projeto estrutural vem sendo estudada pela *Building Smart* com os projetos ST.

A partir destas informações coletadas foi possível elaborar este estudo, que busca compreender e avaliar melhor a interoperabilidade de sistemas CAD de projeto estrutural baseados em IFC. .



### 3 MÉTODO

#### 3.1 UNIDADE DE ANÁLISE

A unidade de análise é a interoperabilidade entre sistemas CAD de projeto estrutural e sistemas BIM para estruturas de concreto armado.

#### 3.2 PRIMEIRO EXPERIMENTO

Esta dissertação de mestrado trata de uma avaliação. Para Robson (2002) uma avaliação é um estudo que define a eficiência e eficácia de alguma inovação.

Para realizar a avaliação dos sistemas foram realizados experimentos. Tomou-se como exemplo os experimentos realizados por Jeong *et al.* (2009) para modeladores BIM de estruturas mistas, porém no caso deste estudo o foco foi em estruturas de concreto armado *in loco*.

Primeiramente, realizou-se um estudo do modo de operação dos softwares TQS e *Revit Structure*, em especial da sua utilização em conjunto, ou seja, em interoperabilidade, importando e exportando arquivos IFC.

Após esse estágio foi selecionado um modelo de edifício. O modelo escolhido foi o MOD-Padrão, exemplo que acompanha o software TQS.

Um modelo igual ao modelo do TQS foi elaborado no modelador BIM. O modelo foi exportado em formato IFC e aberto no próprio sistema que gerou o arquivo, e em um visualizador de IFC (no caso o *Solibri Model Viewer*). As informações sobre quais elementos estruturais e quais informações acerca dos mesmos foram corretamente transferidas foram checadas em uma tabela. O objetivo deste estágio foi o de observar o processo de exportação.

Em um segundo estágio os modelos foram abertos no outro sistema, realizando-se checagem igual à efetuada na primeira fase, tabulando-se os elementos e informações transferidos e não-transferidos para realizar uma contabilização.

De acordo com as possibilidades dos sistemas optou-se por uma checagem visual ao invés de automática. A Figura 5, a seguir, explica o experimento realizado.

Este modelo de experimento foi desenvolvido para se assemelhar ao processo de certificação IFC da *Building Smart*. Como visto no referencial teórico, Pazlar e Turk (2008) descrevem como o procedimento de certificação da *Building Smart* apresenta uma combinação de testes visuais e sintáticos. No primeiro momento, modelos originados em uma aplicação são exportados e importados dentro da mesma aplicação e depois exportados para outras aplicações. O processo de certificação representa o trabalho real. Pode-se exportar casos simples, como uma parede, uma parede com abertura, e de modelos completos mais complexos, como um edifício comercial.

Neste primeiro momento foi utilizado um modelo completo.

Logo as rodadas de importação e de exportação para cada modelo foram as seguintes:

- a. TQS para TQS;
- b. Revit para Revit;
- c. TQS para visualizador;
- d. Revit para visualizador;
- e. TQS para Revit;
- f. Revit para TQS.

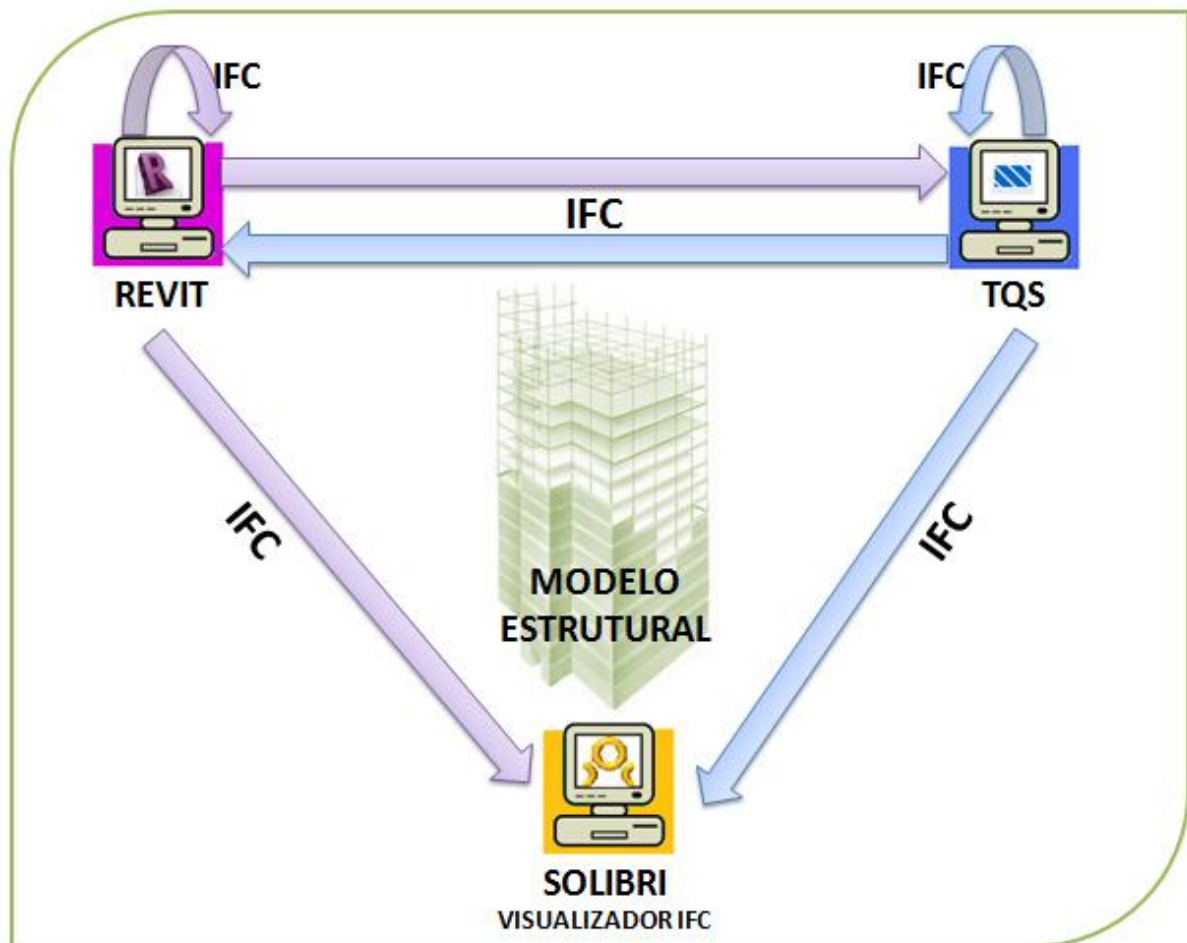


FIGURA 5 – FLUXO DE EXPERIMENTOS  
 FONTE: A autora (2011).

### 3.3 SEGUNDO EXPERIMENTO

O segundo experimento baseou-se na exportação de casos simples, o que também, de acordo com (PAZLAR; TURK, 2008), faz parte do processo de certificação IFC da *Building Smart*. O procedimento é semelhante ao anterior, com o mesmo modelo sendo criado em cada aplicação, transferido por IFC e lido dentro dela mesma, do outro sistema alvo e de um leitor de IFC.

No experimento 2 os elementos estudados foram divididos de forma a representar os principais elementos estruturais e variações de cada um, de acordo com a lista a seguir:

- a. vigas:

- viga com um tramo;
  - viga com dois ou mais tramos;
  - viga com variação de seção;
  - viga com furo;
  - viga curva;
  - viga inclinada;
- b. pilares:
- pilar de apenas um pavimento;
  - pilar de dois ou mais pavimentos;
  - pilar em L;
  - pilar circular;
  - pilar com mudança de seção;
- c. lajes:
- laje com bordo livre;
  - laje com furo;
  - escada;
  - rampa;
  - laje curva;
  - laje nervurada;
- d. fundações:
- bloco com uma estaca;
  - bloco com 2 estacas;
  - bloco com 3 estacas;
  - bloco com 4 estacas.

Esta lista foi baseada em casos citados por Carvalho e Figueiredo (2007), como também em alguns elementos que apresentaram necessidade de estudo aprofundado depois do primeiro experimento.

### 3.4 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO

O estudo principal foi limitado apenas ao estudo de interoperabilidade de dois sistemas específicos:

- a. TQS para sistema CAD de projeto estrutural;
- b. Revit para modelador BIM.

Consideraram-se as transferências de elementos estruturais e as informações relativas aos mesmos.

O sistema TQS foi selecionado tendo em vista que a Universidade Federal do Paraná (UFPR) adota o mesmo em disciplina do currículo antigo de Engenharia Civil, Complementos de Concreto Armado. O sistema Revit foi consequência da escolha do primeiro, visto que as empresas desenvolvedoras anunciaram a compatibilidade dos mesmos.

Finalmente, definiu-se que este estudo seria focado apenas em estruturas de concreto armado moldado *in loco*, não entrando no mérito de outros sistemas estruturais como estruturas metálicas ou de alvenaria estrutural.

### 3.5 ETAPAS DO PROCESSO DE PESQUISA

Apesar do processo do experimento em si já estar delimitado na Figura 5, a Figura 6 define como foi realizada a divisão de etapas no decorrer da pesquisa. Inicia-se com o referencial teórico, desenvolvido no decorrer de todo o período de estudos. Simultaneamente iniciou-se o estudo dos sistemas em foco, para depois selecionar e/ou desenvolver os modelos, realizar os experimentos, analisar os resultados e apresentar os resultados.

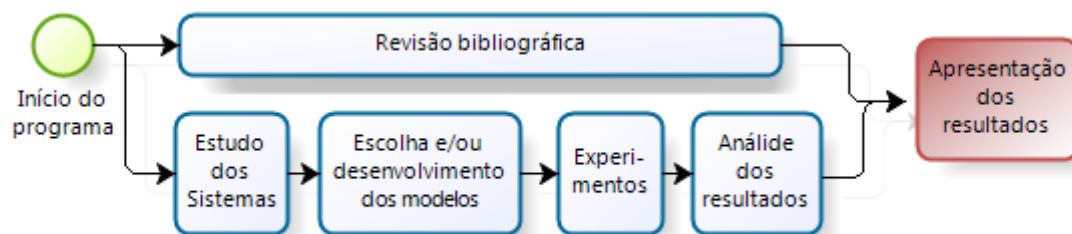


FIGURA 6 – ETAPAS DA PESQUISA  
FONTE: A autora (2011).

## 3.6 VALIDAÇÃO

### 3.6.1 Confiabilidade

A confiabilidade é a capacidade que um estudo tem de ser replicado por outro pesquisador e possibilitar a obtenção de resultados idênticos. Para isso, os procedimentos foram documentados e seguidos com rigor, de forma a possibilitar esta replicação.

### 3.6.2 Validade interna

De acordo com Robson (2002), validade não se refere somente a ser cuidadoso e honesto durante a pesquisa, é preciso garantir a confiabilidade da mesma. A maneira selecionada para tanto foi a adoção do software de visualização IFC, junto da realização de duas rodadas de transferências, que também possibilitou uma maior garantia de confiabilidade do experimento.

O referencial teórico também serviu como garantia na confirmação dos dados obtidos.

### 3.6.3 Validade externa

De acordo com Robson (2002) validade externa é a possibilidade de generalizar o estudo desenvolvido além do quadro estudado. No estudo proposto foi realizada uma comparação com os estudos correlatos apontados nas referências bibliográficas, a fim de verificar se os estudos realizados encontraram resultados semelhantes àqueles já obtidos por outros pesquisadores.

#### 3.6.4 Validade do Constructo

Para garantir a validade do constructo é importante estabelecer medidas operacionais corretas para os conceitos sob estudo. Logo, os procedimentos foram estudados e baseados em outras pesquisas e no referencial teórico cinetífico.

Para garantir a realização do trabalho, caso não fosse possível desenvolver o estudo com Revit e TQS, poderia ter sido utilizado o sistema Tekla, que une, no mesmo sistema, BIM e projeto estrutural.

### 3.7 SELEÇÃO DAS AMOSTRAS

No primeiro experimento foi utilizado o modelo exemplo MOD-padrão, que acompanha o TQS. A seleção deveu-se ao fato deste modelo ter sido modelado pelos próprios desenvolvedores, respeitando as características das melhores práticas para esse sistema.

Para o segundo experimento foram selecionados elementos isolados, de acordo com as dificuldades encontradas no primeiro experimento e sugestões obtidas no referencial teórico.

### 3.8 PROTOCOLO DE COLETA DE DADOS

A coleta de dados nestes experimentos foi aplicada analisando-se os resultados obtidos nos testes efetuados no computador. Foram checados visualmente no modelo e marcados em uma planilha quais elementos estruturais e suas características foram transferidos corretamente.

Os elementos estruturais conferidos nesta checagem são:

- a. vigas;
- b. lajes;
- c. pilares;
- d. blocos de fundação;

e. escadas e rampas (incluídas na categoria lajes).

As características dos modelos conferidas foram baseadas no trabalho de Andrade e Ruschel (2009):

- a. material / tipo – considerando por material se as características do concreto foram transferidas corretamente, e em tipo se o elemento era entendido como o objeto a que se propunha (pilar, viga etc.). Esses foram estudados em conjunto devido ao fato destes aparecerem interligados com frequência;
- b. disposição;
- c. código;
- d. geometria.

A Tabela 1 a seguir exemplifica o modo de checagem utilizado para cada rodada de importações/exportações, utilizando as letras S, N e P (sim, não e parcial, respectivamente):

	Código	Disposição	Geometria	Material
<b>Vigas</b>				
Viga 1	S	S	S	N
Viga 2	S	P	S	N
<b>Lajes</b>				
Laje 1	N	S	P	N
Laje 2				
<b>Pilares</b>				
Pilar 1				
Pilar 2				
<b>Blocos de fundação</b>				
Bloco 1				
Bloco 2				
<b>Escadas</b>				
Escada 1				
Escada 2				
<b>Rampas</b>				
Rampa 1				
Rampa 2				

TABELA 1 – CONFERÊNCIA DE ENTIDADES IMPORTADAS  
FONTE: A autora (2011).

No experimento 2, visando aprofundar o estudo de alguns elementos, foram checados também as armaduras e carregamentos.



Jeong *et al.* (2009) efetuaram esta classificação utilizando o conceito na forma binária: utilizando “OK” para SIM e “FALTANDO” para NÃO. Nesta pesquisa decidiu-se por utilizar um critério intermediário (PARCIAL) além de SIM e NÃO, para permitir diferenciar os casos em que a informação foi transferida parcialmente das vezes em que não foi transferida.

### 3.9 MÉTODO DE ANÁLISE DE DADOS

Assim como em uma escala Likert, a cada tipo de resposta foi atribuída uma numeração equivalente. Porém, ao contrário da escala Likert, que varia de um a cinco fazendo-se um somatório (BRANDALISE, 2005), neste caso a escala varia de zero a um, obtendo-se uma média, visando adquirir um resultado que expresse uma proporção.

Apesar de a escala Likert ser utilizada principalmente para medição de percepção e avaliação, o sistema de notas adequou-se à pesquisa por esta se tratar em parte de uma avaliação.

A partir dos dados coletados, foram atribuídas notas equivalentes a 1 para SIM, 0,5 para PARCIAL, e 0 para não. Depois calculou-se uma média total, envolvendo todas as características de cada elemento (Tabela 2).

	Código	Disposição	Geometria	Material/ Tipo	Total
Vigas	0,5	1	1	0	
Lajes	1	0,5	1	0,5	
Pilares					
Blocos de fundação					
Escadas					
Total					

TABELA 2 – PORCENTAGENS DE PEÇAS IMPORTADAS  
FONTE: A autora (2011).

Outras falhas nas transferências de arquivos foram anotadas e descritas. Após estes procedimentos foram elaboradas a conclusão e as recomendações.

### 3.10 PARCERIAS

Para o desenvolvimento da pesquisa aqui descrita foram realizadas as seguintes parcerias, às quais cabem agradecimentos:

- a. Projeto Rede BIM Brasil (CAPES / Pró-engenharias) – apoio na pesquisa, sugestões de bibliografia;
- b. TQS Informática – fornecendo licença do software e informações sobre o mesmo;
- c. *Autodesk Student Community* – fornecendo licença do software Revit Structure e informações sobre o mesmo;
- d. Solibri – fornecendo licença do software *Solibri Model Viewer* e informações sobre o mesmo.

## 4 RESULTADOS DO PRIMEIRO EXPERIMENTO

No experimento 1 foi utilizado o modelo de exemplo MOD-Padrão do sistema TQS 15. Na primeira fase as plantas do modelo foram exportadas em .DXF e abertas no *Revit Structure* 2010. Em seguida o edifício foi modelado neste último programa, utilizando os desenhos em .DXF como referência.

Posteriormente, o modelo MOD-Padrão foi exportado para um arquivo no formato IFC 2X3 pelo TQS, e aberto no *Revit Structure* e no *Solibri Model Viewer*. Os dados foram analisados e os objetos exportados contabilizados.

O modelo criado no *Revit Structure* a partir dos desenhos em .DXF do TQS também foram exportados para um arquivo no formato IFC 2X3 e abertos no *Solibri Model Viewer*. Os dados foram analisados, e os objetos exportados e contabilizados.

### 4.1 CARACTERÍSTICAS DO MODELO

O modelo consiste de um edifício de quatro pavimentos (mais reservatório) (Figura 7), com uma área total de 212,4 m<sup>2</sup> de estrutura construída e 10,7 m de altura total (Tabela 3). O edifício apresenta vigas simples, vigas de escada (Tabela 4), escadas, lajes, lajes em balanço, lajes nervuradas (Tabela 6), pilares retangulares, pilares em L (Tabela 5), blocos de fundação (Tabela 7) e estacas.

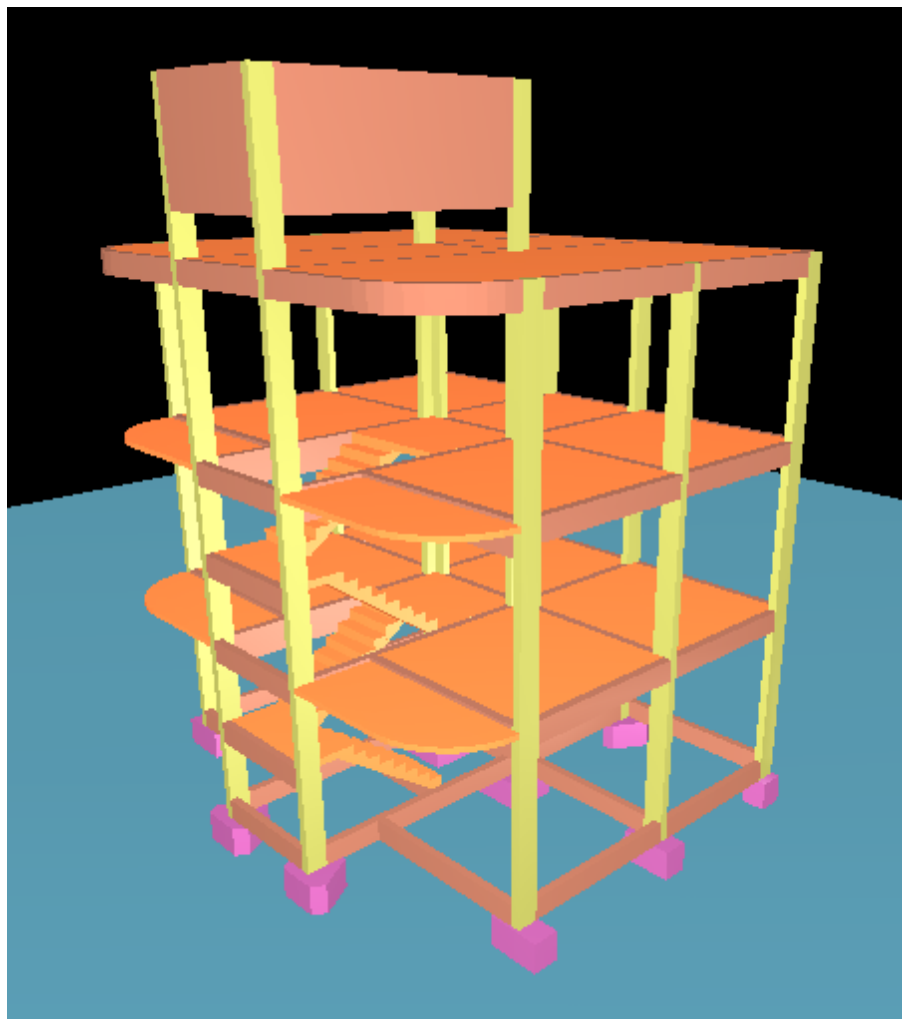


FIGURA 7 – VISÃO TRIDIMENSIONAL DO MODELO  
 FONTE: A autora (2011) a partir do modelo MOD-padrão do TQS.

TABELA 3 – ALTURAS E ÁREAS DO MODELO

Altura dos Pavimentos e Áreas				
Pavimento	Piso	Piso a Piso (m)	Cota (m)	Área (m <sup>2</sup> )
Reserv	4	2,3	10,7	10,6
Cobertura	3	2,8	8,4	64,4
Tipo	2	2,8	5,6	64,7
Tipo	1	2,8	2,8	64,7
Fundação	0	0	0	8
				<b>TOTAL = 212,4</b>

FONTE: A autora (2011) a partir do modelo MOD-padrão do TQS.

TABELA 4 – CARACTERÍSTICAS DAS VIGAS

Pavimento Fundação – Vigas		
Elemento	Comprimento	Seção
V1	5,4	14 X 35
V2	6,33	14 X 35
V3	6,33	14 X 35
V4	5,4	14 X 35
V5	2,01	14 X 35
V6	3,08	14 X 35
V7	3,08	14 X 35
V8	7,19	14 X 35
V9	8,03	14 X 35
V10	2,15	14 X 35
V11 = VE2	2,15	14 X 35

Pavimento Cobertura – Vigas		
Elemento	Comprimento	Seção
V1	5,4	14 X 35
V2	6,54	14 X 35
V3	6,54	14 X 35
V4	5,4	14 X 35
V5	3,81	14 X 35
V6	2,01	14 X 35
V7	3,81	14 X 35
V8	1,59	14 X 35
V9	8,03	14 X 35

Pavimento Tipo – Vigas		
Elemento	Comprimento	Seção
V1	5,4	14 X 35
V2	6,47	14 X 35
V3	6,47	14 X 35
V4	5,4	14 X 35
V5	2,01	14 X 35
V6	3,08	14 X 35
V7	3,08	14 X 35
V8	7,19	14 X 35
V9	8,03	14 X 35
V10	2,01	14 X 35

Pavimento Reservatório– Vigas		
Elemento	Comprimento	Seção
V1	3,94	14 X 70
V2	3,94	15 X 70
V3	2,01	16 X 70
V4	5,4	17 X 70

FONTE: A autora (2011) a partir do modelo MOD-padrão do TQS.

TABELA 5 – CARACTERÍSTICAS DOS PILARES

PILARES			
Pilar	Pavimento	Seção cm	Área cm <sup>2</sup>
P1	1	14 x 35	490
	2	14 x 35	490
	3	14 x 35	490
P2	1	14 x 35	490
	2	14 x 35	490
	3	14 x 35	490
P3	1	14 x 35	490
	2	14 x 35	490
	3	14 x 35	490
P4	1	14 x 35	490
	2	14 x 35	490
	3	14 x 35	490
	4	14 x 35	490
P5	1	L 14 x 35 x 31	784
	2	L 14 x 35 x 31	785
	3	L 14 x 35 x 31	786
	4	14 x 35	490
P6	1	14 x 35	490
	2	14 x 35	490
	3	14 x 35	490
P7	1	14 x 35	490
	2	14 x 35	490
	3	14 x 35	490
	4	14 x 35	490
P8	1	L 14 x 35 x 31	784
	2	L 14 x 35 x 31	785
	3	L 14 x 35 x 31	786
	4	14 x 35	490
P9	1	14 x 35	490
	2	14 x 35	490
	3	14 x 35	490
P10	1	14 x 35	490
	2	14 x 35	490
	3	14 x 35	490
P11	1	14 x 35	490
	2	14 x 35	490
	3	14 x 35	490
P12	1	14 x 35	490
	2	14 x 35	490
	3	14 x 35	490

FONTE: A autora (2011) a partir do modelo MOD-padrão do TQS.

TABELA 6 – CARACTERÍSTICAS DAS LAJES

LAJES		
Laje	Área m <sup>2</sup>	Espessura cm
LAJES – FUNDAÇÃO		
Não há lajes na fundação		
LAJES – TIPO		
L1	3,86	9
L2	9,06	9
L3	8,46	9
L4	5,65	9
L5	3,86	9
L6	9,06	9
L7	8,46	9
L8	3,43	12
L9	1,82	12
L8001	1,76	15
L8002	1,76	15
LAJES – COBERTURA		
L1 – nervurada	21,66	25
L2 – nervurada	8,76	25
L3 – nervurada	5,65	25
L4 – nervurada	21,66	25
LAJE – RESERVATÓRIO		
L1	8,76	14

FONTE: A autora (2011) a partir do modelo MOD-padrão do TQS.

TABELA 7 – CARACTERÍSTICAS DOS BLOCOS DE FUNDAÇÃO

FUNDAÇÃO			
BLOCOS	DIMENSÕES	Nº DE ESTACAS	DIAM.S ESTACAS
B1	88 x 44 x 50	2	22
B2	88 x 44 x 50	2	22
B3	44 x 44 x 50	1	22
B4	82 x 82 x 82 x 50	3	22
B5	88 x 88 x 50	4	22
B6	82 x 82 x 82 x 50	3	22
B7	82 x 82 x 82 x 50	3	22
B8	88 x 88 x 50	4	22
B9	82 x 82 x 82 x 50	3	22
B10	88 x 44 x 50	2	22
B11	88 x 44 x 50	2	22
B12	44 x 44 x 50	1	22

FONTE: A autora (2011) a partir do modelo MOD-padrão do TQS.

## 4.2 DIFICULDADES ENCONTRADAS

Em um primeiro momento o modelo já pronto no TQS teve de ser modelado no *Revit Structure*. As principais dificuldades encontradas foram:

- a. os desenhos de referência em .DWG do TQS não eram compatíveis com o Revit. Os desenhos tiveram de ser transformados em .DXF e então inseridos no modelo;
- b. os pilares P5 e P8 são pilares em L, com mudança de seção no pavimento da caixa d'água. O programa não tinha na sua biblioteca original, esse tipo de pilar, que teve de ser modelado no editor de famílias do Revit;
- c. o Revit não possui lajes nervuradas em sua biblioteca, logo, foi preciso baixar o modelo da parte vazada da laje e os “vazios” foram inseridos em uma laje de 25cm de espessura. Os vazios foram baixados de um banco de dados de famílias .RFA (REVIT CITY). Porém, os mesmos tiveram de ser editados no editor de famílias do Revit para gerar os vazios com metade do tamanho;
- d. a viga V7 (curva) do pavimento cobertura foi modelada utilizando-se um arco, entretanto a viga V5 (espelho da mesma) foi modelada aplicando-se segmentos de reta pequenos, como a viga original havia sido modelada no TQS. Logo, obtiveram-se dois tipos diferentes de geometria para representar o mesmo tipo de viga curva;
- e. o bloco de fundação de três estacas que existia na biblioteca do programa apresentava diferenças geométricas e de materiais em relação àquele definido no projeto. Este também não era inteiramente parametrizado, o que dificultou uma edição mais rápida, logo o bloco teve de ser remodelado para se adequar ao desejado (Figura 8);
- f. o Revit não permitia a edição de apenas um tramo de uma viga, ou de uma seção de pilar variável. Logo, esses tiveram de ser modelados separadamente, e depois unidos.



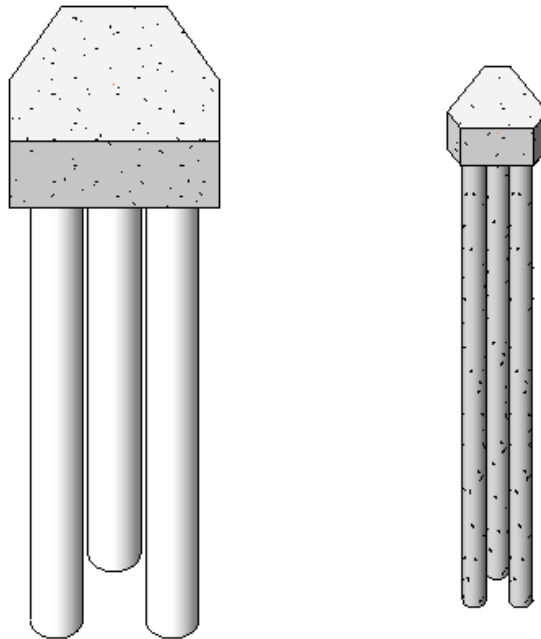


FIGURA 8 – BLOCO À ESQUERDA EXISTIA NA BIBLIOTECA DO PROGRAMA, E O BLOCO À DIREITA É O MESMO BLOCO REMODELADO PARA SE ADEQUAR AO PROJETO.

FONTE: A autora (2011).

#### 4.3 RESULTADOS DO PRIMEIRO EXPERIMENTO

Os primeiros modelos (um já presente no TQS como exemplo e outro modelado no *Revit Structure*- FIGURA 9) foram exportados para arquivos IFC. Foi possível observar alguns erros de importação e exportação.

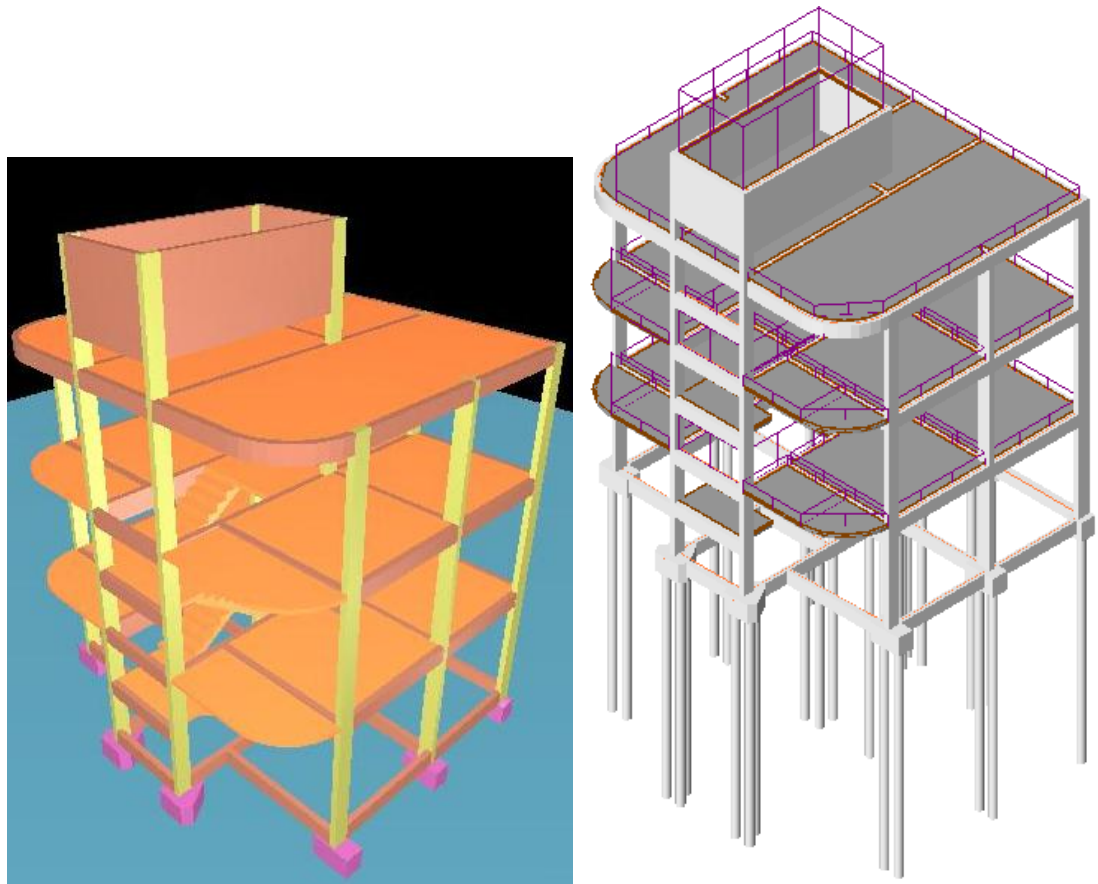


FIGURA 9 – MODELO ORIGINAL DO TQS À ESQUERDA E O MESMO MODELO CRIADO NO REVIT STRUCTURE À DIREITA  
FONTE: A autora (2011).

A Figura 10 a seguir mostra, entre as importações/exportações planejadas, quais foram possíveis e quais não foram realizadas.

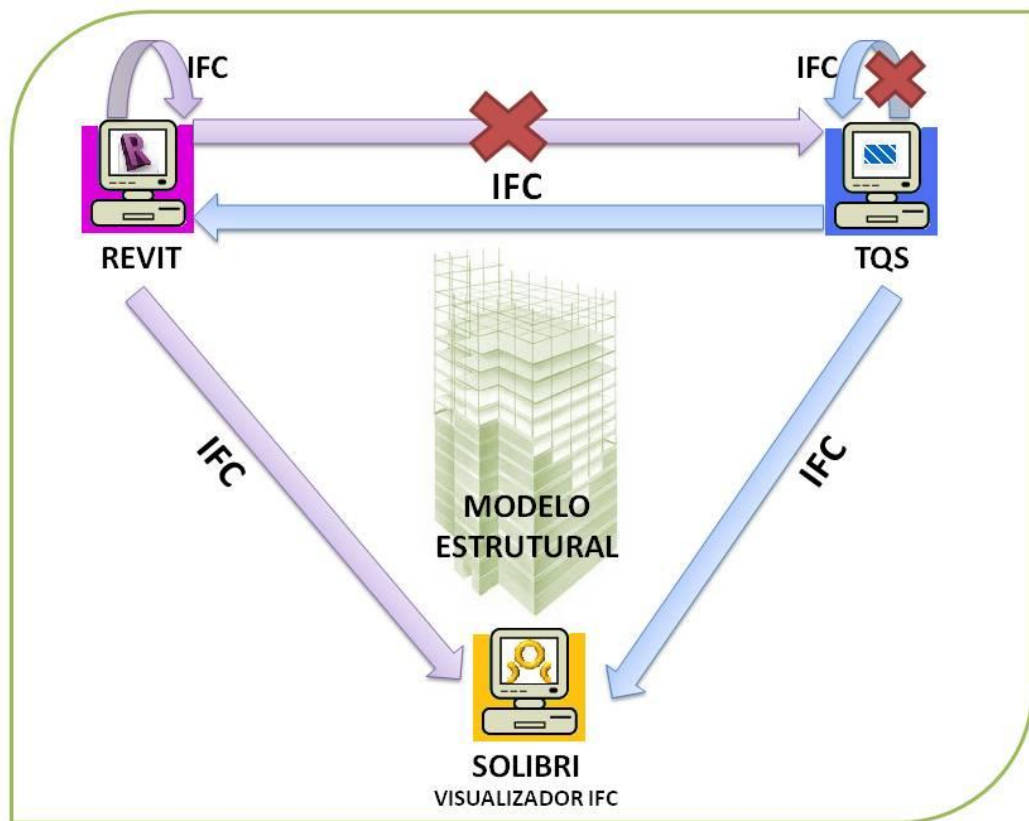


FIGURA 10 – EXPERIMENTOS REALIZADOS  
 FONTE: A autora (2011).

No modelo IFC gerado no Revit e aberto nele mesmo houve erros de transferência nos pilares e escadas. Ao acessar as propriedades dos objetos, verificou-se que perderam suas características e funções, como tipo de objeto e material. No modelo importado do TQS os objetos perderam suas funções (como pilar, viga etc.), porém mantiveram suas características geométricas (Figura 11).

Apesar do TQS exportar arquivos IFC, não os recebe. De acordo com a TQS, um *plug-in* baixado em versão *beta* do site permite efetuar trocas com o *Revit Structure* por meio de arquivos .TQR. Ao tentar efetuar a transferência, porém, esta não se completou devido a uma falha no programa não relatada.

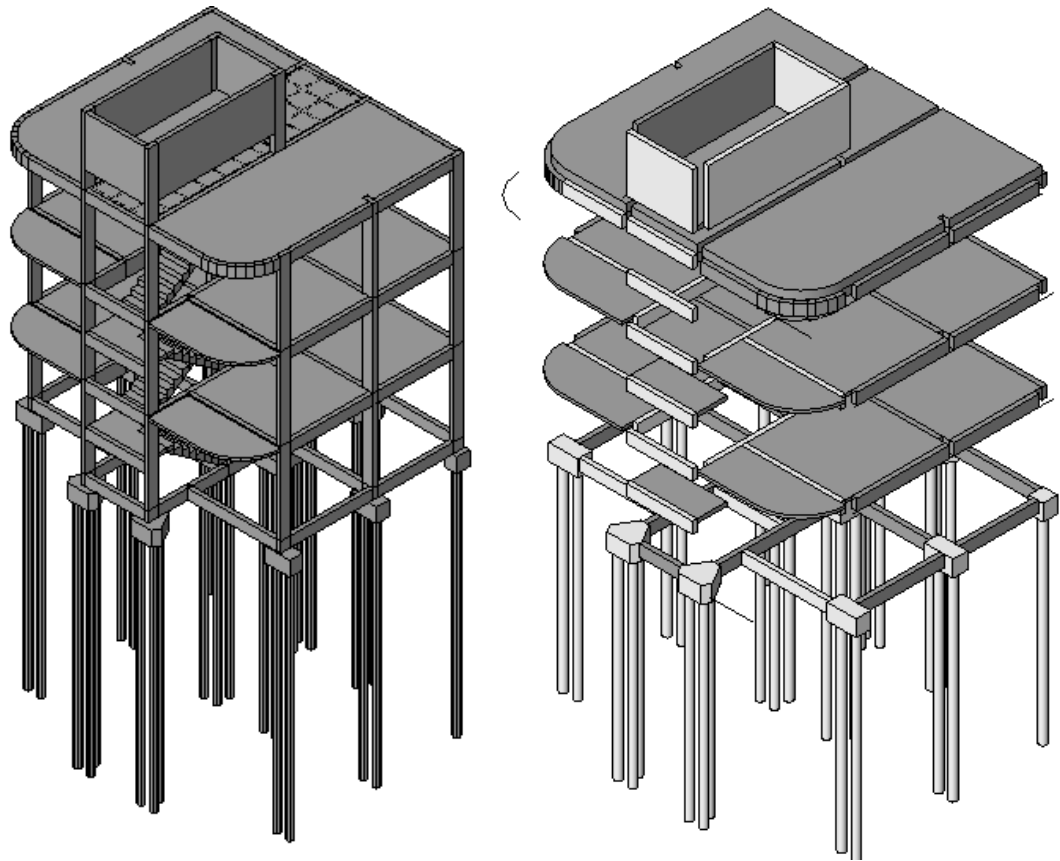


FIGURA 11 – À ESQUERDA: MODELO EXPORTADO PARA IFC DO TQS E ABERTO NO REVIT. À DIREITA MODELO EXPORTADO PARA IFC DO REVIT E ABERTO NO REVIT STRUCTURE  
FONTE: A autora (2011).

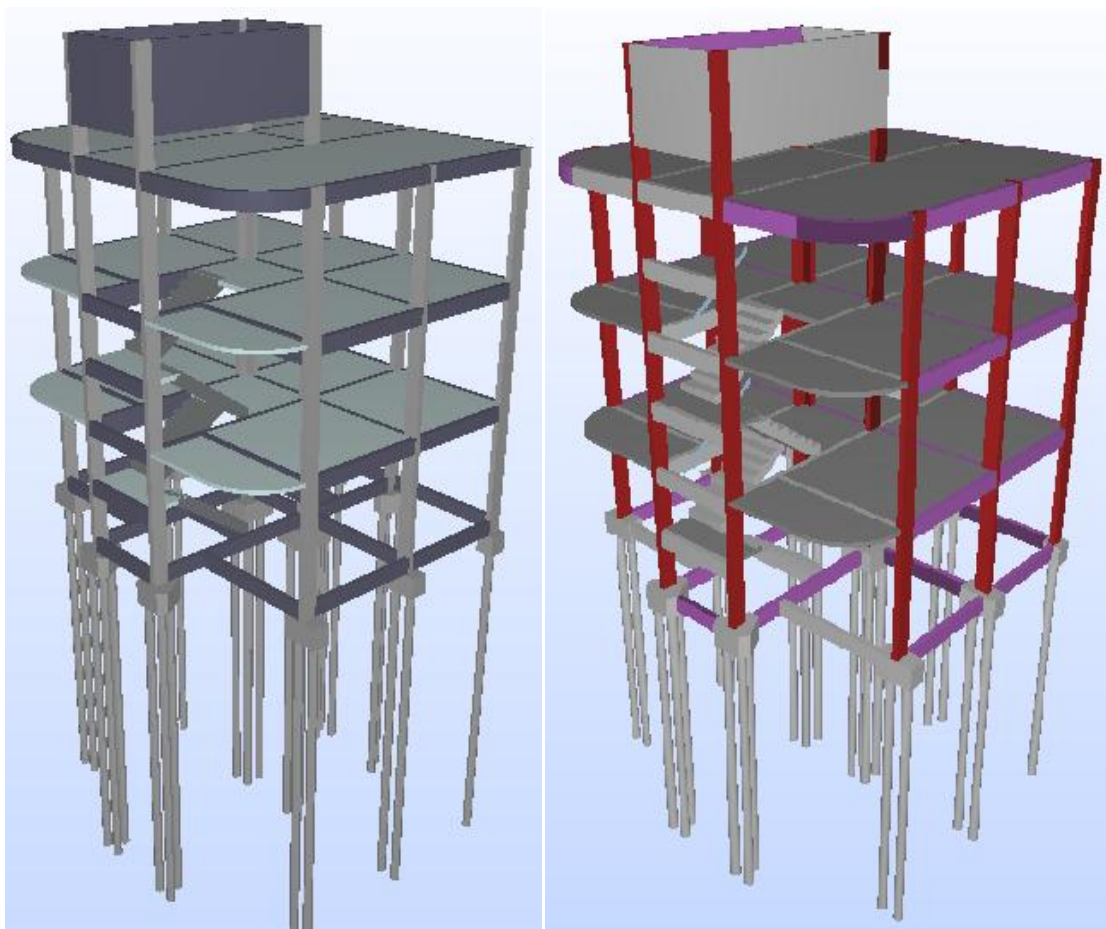


FIGURA 12 – MODELOS EXPORTADOS PARA IFC VISUALIZADOS NO SOLIBRI MODEL VIEWER– À ESQUERDA A PARTIR DO TQS E A PARTIR DO REVIT STRUCTURE À DIREITA  
FONTE: A autora (2011).

Os arquivos IFC exportados para o *Solibri Model Viewer* mantiveram a geometria correta e maioria das funções dos objetos, tanto os vindos do *Revit Structure* quanto os vindos do TQS. Logo, pode-se concluir que os erros ocorreram na importação dos arquivos pelo *Revit Structure*, visto que as exportações apareceram corretas no visualizador de IFC (Figura 12).

Segundo Carvalho e Figueiredo (2007) o concreto armado permite a criação de estruturas monolíticas, o que significa que não existe uma definição exata de onde começa um elemento e acaba outro.

Isso, do ponto de vista estrutural pode ser uma vantagem, porém do ponto de vista do desenvolvedor de software BIM consiste em um problema, visto que este trabalha orientado a objetos.

Percebeu-se dificuldades em relação a isso no experimento, em especial nas vigas e sua divisão em tramos e nos pilares e sua divisão em pavimentos. O que

deveria ser uma peça monolítica (uma viga, por exemplo), foi dividida pelo programa em tramos separados, criando GUIDs (identificadores) com “extensões” diferentes para cada um deles. Por exemplo, como pode ser visto na Figura 13, a Viga V1 da fundação foi dividida em duas, e tem dois GUIDs diferentes: 08KZAd3SgGExyEohqGppE e 08KZAd3SgGExyEohqGppE.1677.

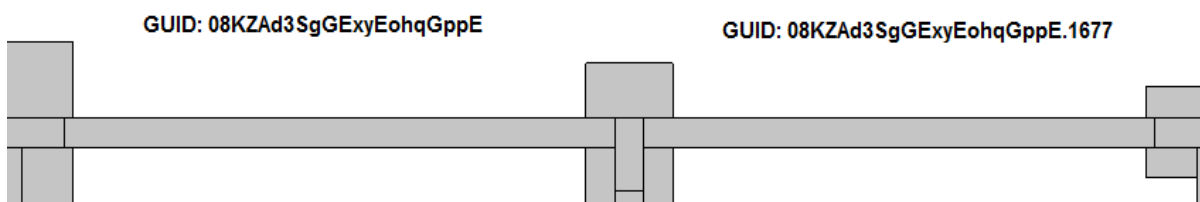


FIGURA 13 – VIGA COM GUIDS DIFERENTES EM TRAMOS DIFERENTES  
FONTE: A autora (2011).

O mesmo ocorreu com os pilares. Ao passar de um pavimento para outro, o pilar era segmentado, cada parte recebendo um GUID com uma extensão diferente. Também percebeu-se essa falha nos blocos de fundação: eram separados das estacas, cada um recebendo um mesmo GUID inicial com uma extensão diferente.

Este tipo de erro foi verificado nos arquivos exportados do TQS e visualizados no *Solibri Model Viewer*, porém não foi verificado em nenhum dos outros casos.

O modelo IFC também apresentou dificuldades para exportar curvas, como as vigas da cobertura, que foram divididas em vários pedaços. Isso ocorreu tanto com vigas importadas do TQS quanto do Revit (Figura 14).

Nos arquivos IFC abertos no Revit alguns erros gráficos como linhas “saltando” do desenho também foram observados (Figura 15).

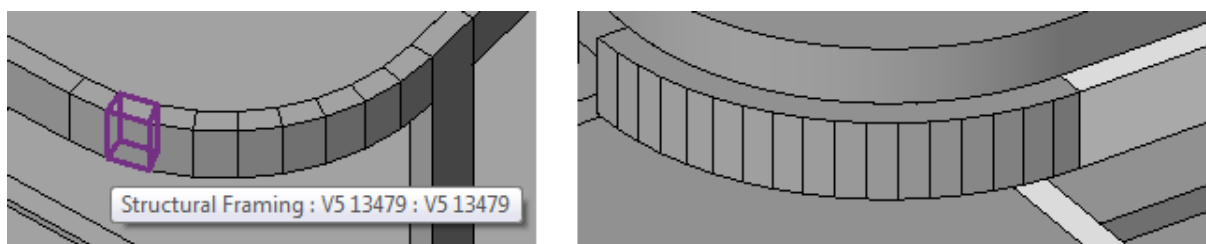


FIGURA 14 – VIGAS COM ERROS NAS CURVAS. À DIREITA IMPORTADAS DO TQS E À ESQUERDA IMPORTADAS DO REVIT  
FONTE: A autora (2011).

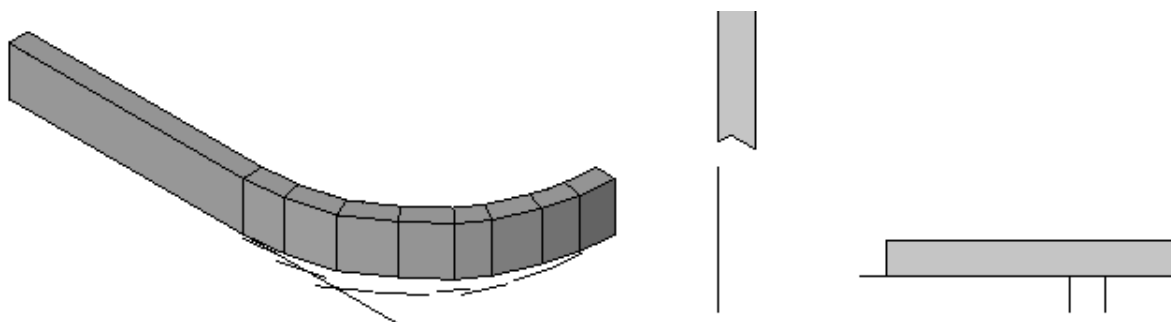


FIGURA 15 – VIGAS COM ERROS GRÁFICOS DE LINHAS “SALTANDO” DO DESENHO - IMPORTADAS DO REVIT E VISUALIZADAS NO REVIT  
FONTE: A autora (2011).

Por fim, os resultados tabelados e suas médias foram os seguintes:

TABELA 8 – RESULTADOS

EXPERIMENTO 1		DE:	REVIT	PARA:	REVIT
OBJETO	CÓDIGO	DISPOSIÇÃO	GEOMETRIA	MATERIAL/TIPO	TOTAL
PILARES	1,00	1,00	1,00	0,90	0,98
FUNDAÇÕES	1,00	1,00	1,00	0,00	0,75
VIGAS	1,00	1,00	0,73	0,73	0,86
LAJES	1,00	0,80	0,70	0,65	0,79
TOTAIS	1,00	0,95	0,86	0,57	0,84

EXPERIMENTO 1		DE:	REVIT	PARA:	SOLIBRI
OBJETO	CÓDIGO	DISPOSIÇÃO	GEOMETRIA	MATERIAL/TIPO	TOTAL
PILARES	1,00	1,00	1,00	0,90	0,98
FUNDAÇÕES	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
VIGAS	1,00	1,00	0,86	1,00	0,97
LAJES	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
TOTAIS	1,00	1,00	0,97	0,98	0,99

EXPERIMENTO 1		DE:	REVIT	PARA:	TQS
OBJETO	CÓDIGO	DISPOSIÇÃO	GEOMETRIA	MATERIAL/TIPO	TOTAL
PILARES	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FUNDAÇÕES	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
VIGAS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
LAJES	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAIS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

EXPERIMENTO 1		DE:	TQS	PARA:	REVIT
OBJETO	CÓDIGO	DISPOSIÇÃO	GEOMETRIA	MATERIAL/TIPO	TOTAL
PILARES	1,00	1,00	0,50	0,00	0,63
FUNDAÇÕES	1,00	1,00	0,50	0,00	0,63
VIGAS	1,00	1,00	0,78	0,50	0,82
LAJES	1,00	1,00	0,89	0,50	0,85
TOTAIS	1,00	1,00	0,67	0,25	0,73

EXPERIMENTO 1		DE:	TQS	PARA:	SOLIBRI
OBJETO	CÓDIGO	DISPOSIÇÃO	GEOMETRIA	MATERIAL/TIPO	TOTAL
PILARES	0,50	1,00	0,50	0,50	0,63
FUNDAÇÕES	0,50	1,00	1,00	0,50	0,75
VIGAS	0,71	1,00	0,71	1,00	0,85
LAJES	0,50	1,00	0,88	1,00	0,84
TOTAIS	0,55	1,00	0,77	0,75	0,77

EXPERIMENTO 1		DE:	TQS	PARA:	TQS
OBJETO	CÓDIGO	DISPOSIÇÃO	GEOMETRIA	MATERIAL/TIPO	TOTAL
PILARES	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FUNDAÇÕES	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
VIGAS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
LAJES	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAIS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

TOTAL	0,59	0,66	0,54	0,42	0,55
-------	------	------	------	------	------

FONTE: A autora (2011).

TABELA 9 – TAMANHOS DOS ARQUIVOS

	MODELO ORIGINAL	EXPORTADO PARA IFC
Revit	5304 KB	3225 KB
TQS	10960 KB	1175 KB

FONTE: A autora (2011).

Observando que a média dos arquivos visualizados no Solibri é maior que aquelas visualizadas no Revit e TQS, conclui-se que ambas as aplicações geram arquivos IFC mais facilmente do que sua capacidade de leitura dos mesmos.

O sistema *Revit Structure* apresentou dificuldades de leitura de ambos os arquivos (informações mal ou não transferidas). Já no sistema TQS nem mesmo foi possível abrir o arquivo IFC gerado no *Revit Structure* nem o que foi gerado nele mesmo.



Dentre os quatro itens estudados (código, disposição, geometria e material/tipo), disposição e código foram os que apresentaram menos erros. Os erros observados em geometria estão principalmente relacionados com falta de nervuras e nos elementos curvos. O item material/tipo foi o que apresentou mais erros, visto que muitas vezes apenas o tipo do elemento ou o material foram transferidos corretamente, e em alguns casos nenhum deles.

A partir disso, conclui-se que a parte geométrica do IFC para estruturas de concreto armado foi relativamente eficiente (em especial quando comparada com as características de materiais dos modelos), apesar das dificuldades relatadas por Jeong *et al.* (2009) no sentido de algumas complexidades geométricas do concreto armado.

Com relação aos tamanhos dos arquivos observados na Tabela 9, observa-se que ambos os modelos diminuíram os tamanhos de arquivos ao serem transferidos para IFC, em especial dos modelos TQS.

Tentou-se efetuar a transferência utilizando um formato específico para integração do Revit com TQS, com a extensão .TQR através de um *plug-in* fornecido pelo fabricante. Os programas não completaram as transferências, logo, focou-se apenas no formato IFC, que tem a vantagem de não ser proprietário.

## 4.2 CONCLUSÕES SOBRE O PRIMEIRO EXPERIMENTO

Com relação a este primeiro experimento, pôde-se concluir que os sistemas têm maior facilidade de exportar arquivos IFC do que têm para lê-los.

Foi possível observar também a maior dificuldade que os sistemas estudados têm de exportar os materiais e tipos de elementos do que as outras categorias.

Alguns erros geométricos e de identificadores (GUIDs) foram observados, em especial relacionados à desconsideração do monolitismo das estruturas de concreto armado.

## RESULTADOS DO SEGUNDO EXPERIMENTO

Para o experimento 2, uma série de elementos estruturais foi modelada em ambos os modeladores estruturais e posteriormente exportada para formato IFC. Depois de exportados, os modelos foram abertos nos programas-alvo e analisados isoladamente.

### 5.1 CARACTERÍSTICAS DOS MODELOS:

Os modelos utilizados nos mini-experimentos estão descritos na Tabela 10:

TABELA 10 – CARACTERÍSTICAS DOS MODELOS

TIPO	OBJETO	DESCRIÇÃO
Fundação	Bloco 4 estacas	88cm x 88cm - 4 ESTACAS $\varnothing$ 22cm
	Bloco 3 estacas	95cm x 83cm - 3 ESTACAS $\varnothing$ 22cm
	Bloco 2 estacas	88cm x 44cm - 2 ESTACAS $\varnothing$ 22cm
	Bloco 1 estaca	44cm x 44cm - 1 ESTACA $\varnothing$ 22cm
Pilares	Em L	35cm x 35cm x 14cm
	Circular	$\varnothing$ 35cm
	Apenas 1 lance	35cm x 15cm
	2 lances	35cm x 15cm
	Mudança Seção	35cm x 15cm - 17,5cm x 15cm
Vigas	1 tramo	14cm x 35cm
	2 tramos	14cm x 35cm - 14cm x 35cm
	Mudança Seção	14cm x 35cm - 19cm x 50cm
	Curva	14cm x 35cm
	Incliniada	14cm x 35cm
	Com Furo	14cm x 35cm com furo de 10cm x 10cm
Lajes	Rampa	h = 12cm
	Escada	h = 12cm com degraus de 16,5cm x 30cm
	Nervurada	h = 25cm com nervuras
	Com Furo	h = 12cm - com furo de 50cm x 50cm
	Curva	h = 12cm
	Bordo livre	h = 12cm

FONTE: A autora (2011).

## 5.2 DIFICULDADES ENCONTRADAS

Encontraram-se as mesmas dificuldades do primeiro experimento, em especial as relacionadas à falta de bibliotecas e objetos pouco parametrizados.

## 5.3 RESULTADOS DO SEGUNDO EXPERIMENTO

No segundo experimento pode-se dividir o estudo dos resultados em categorias de acordo com os tipos de elementos estudados. São apresentados os resultados em tabelas com as médias de cada importação para cada categoria.

### 5.3.1 Blocos de fundação

A Tabela 11 a seguir mostra as médias de importação dos blocos de fundação, e a Figura 16 mostra os blocos exportados.

TABELA 11 – FUNDAÇÕES – MÉDIA DE IMPORTAÇÕES

TIPO	OBJETO	CÓDIGO	DISPOSIÇÃO	GEOMETRIA	MATERIAL	CARGAS	ARMADURAS
Fundação	Bloco 4 estacas	0,58	0,67	0,58	0,25	X	0,08
	Bloco 3 estacas	0,58	0,67	0,58	0,25	X	0,08
	Bloco 2 estacas	0,58	0,67	0,58	0,25	X	0,08
	Bloco 1 estaca	0,58	0,67	0,58	0,25	X	0,08

FONTE: A autora (2011).

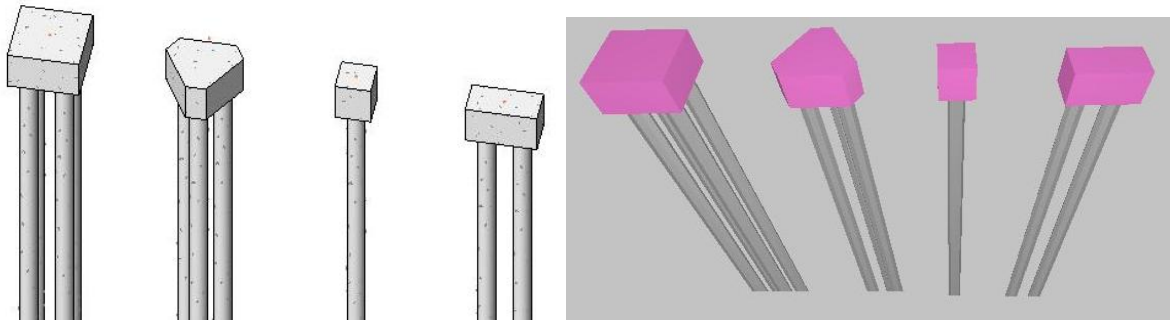


FIGURA 16 – À ESQUERDA BLOCOS ORIGINADOS NO REVIT E À DIREITA BLOCOS ORIGINADOS NO TQS – NA SEQUÊNCIA DE 4, 3, 1 E 2 ESTACAS  
FONTE: A autora (2011).

Não houve diferenças entre os tipos de blocos durante os testes.

Alguns erros ocorreram nos códigos GUID, como consequência de que quando modelados no TQS o bloco e as estacas eram considerados um só objeto. Já no visualizador IFC estes objetos foram divididos, o que fez com que blocos e estacas mantivessem todos uma primeira parte do código, mas fossem adicionadas extensões diferentes ao GUID de cada parte.

Outro erro relevante foi o geométrico. Em alguns casos não foi possível gerar uma estaca circular, aparecendo em corte como um polígono de 8 lados (Figura 17).

Na categoria material/tipo, apesar de os materiais como concreto terem sido exportados corretamente, os blocos perdiam frequentemente a característica de “fundação”, sendo tratados como volumes genéricos.

Por fim, na exportação de Revit para Solibri, as armaduras foram exportadas como características dos blocos, não como objetos. Nos demais casos, as armaduras sequer apareceram.

Os blocos não têm cargas diretas, logo estas não foram estudadas.

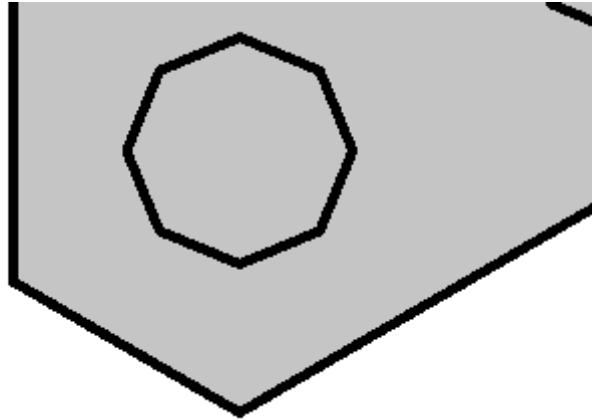


FIGURA 17 – ESTACA NÃO FOI GERADA CIRCULAR, E SIM COMO UM OCTAEDRO  
FONTE: A autora (2011).

### 5.3.2 Pilares

A Tabela 12 a seguir mostra as médias de importação dos pilares, e a Figura 18 mostra os pilares estudados.

TABELA 12 – PILARES – MÉDIA DE IMPORTAÇÕES

TIPO	OBJETO	CÓDIGO	DISPOSIÇÃO	GEOMETRIA	MATERIAL	CARGAS	ARMADURAS
Pilares	Em L	0,67	0,67	0,67	0,42	X	0,08
	Circular	0,67	0,67	0,58	0,42	X	0,08
	Apenas 1 lance	0,67	0,67	0,67	0,42	X	0,08
	2 lances	0,58	0,67	0,50	0,42	X	0,08
	Mudança Seção	0,42	0,67	0,50	0,42	X	0,08

FONTE: A autora (2011).

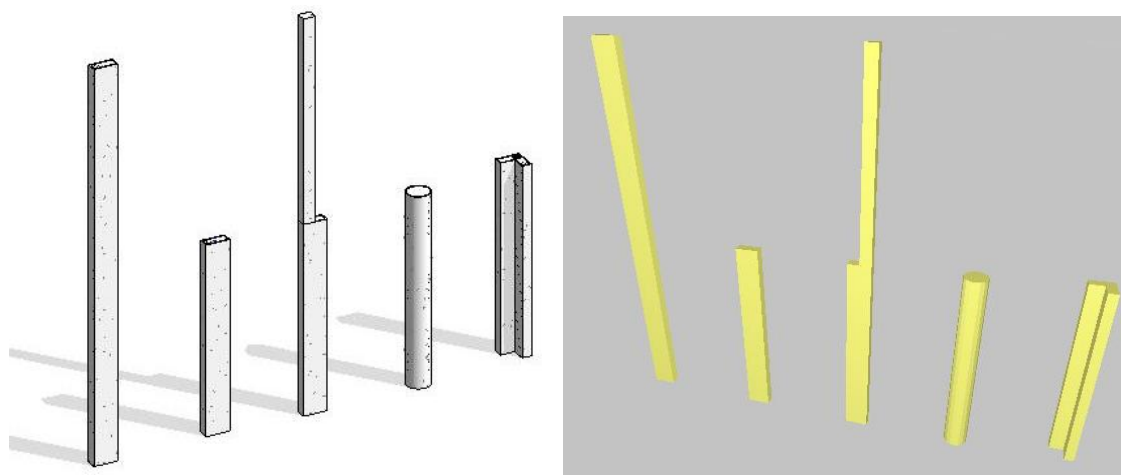


FIGURA 18 – À ESQUERDA PILARES ORIGINADOS NO REVIT E À DIREITA PILARES ORIGINADOS NO TQS – NA SEQUÊNCIA COM DOIS PAVIMENTOS, COM UM PAVIMENTO, COM MUDANÇA DE SEÇÃO, CIRCULAR E EM L

FONTE: A autora (2011).

Semelhante ao ocorrido com os blocos de fundação, erros também ocorreram nos códigos GUID dos pilares, como consequência de que quando modelados no TQS, os pilares eram considerados como elementos únicos. Já no visualizador IFC os pilares foram divididos nos pavimentos (Figura 19). Isto fez com que as partes dos pilares mantivessem uma primeira parte do código, mas fossem adicionadas extensões diferentes ao GUID de cada parte.

A disposição e as geometrias de modo geral apresentaram bons resultados, com erros nas geometrias decorrentes da divisão dos pavimentos citadas anteriormente.

Assim como nos blocos de fundação, ocorreram problemas nos pilares na categoria material/tipo. Apesar de o material concreto ter sido exportado corretamente, os pilares frequentemente perderam a característica de “pilar”, sendo tratados como volumes genéricos. Na exportação de Revit para Solibri as armaduras também foram tratadas como características dos pilares, não como objetos, e nos demais casos nem sequer apareceram.

As cargas não foram analisadas, visto que não existem carregamentos diretos nos pilares.

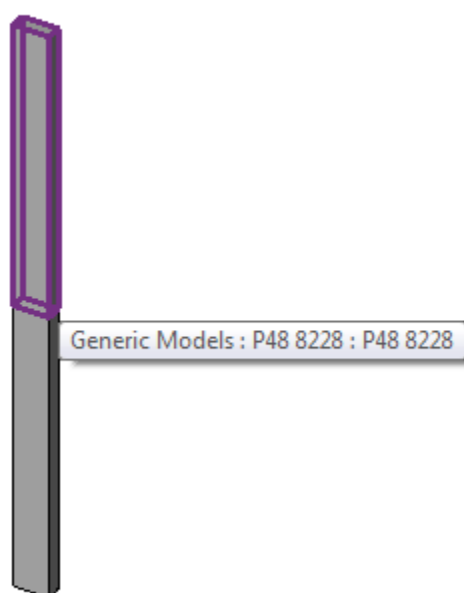


FIGURA 19 – PILAR DIVIDIDO EM PAVIMENTOS (DEVERIA SER UM ELEMENTO ÚNICO)  
 FONTE: A autora (2011).

### 5.3.3 Vigas

A Tabela 12 a seguir mostra as médias de importação das vigas, e a Figura 20 mostra as vigas exportadas:

TABELA 13 – VIGAS – MÉDIA DE IMPORTAÇÕES

TIPO	OBJETO	CÓDIGO	DISPOSIÇÃO	GEOMETRIA	MATERIAL	CARGAS	ARMADURAS
Vigas	1 tramo	0,67	0,67	0,67	0,58	0,00	0,08
	2 tramos	0,58	0,67	0,50	0,42	0,00	0,08
	Mudança Seção	0,42	0,67	0,50	0,58	0,00	0,08
	Curva	0,58	0,67	0,42	0,42	0,00	0,08
	Inclinada	0,58	0,67	0,50	0,58	0,00	0,08
	Com Furo	0,58	0,67	0,58	0,58	0,00	0,08

FONTE: A autora (2011).

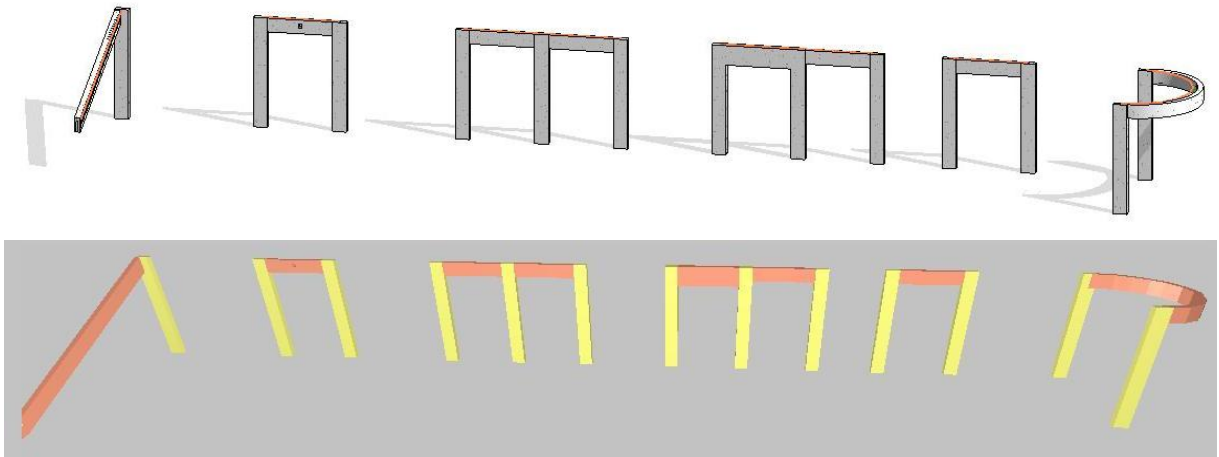


FIGURA 20 – ACIMA VIGAS ORIGINADAS NO REVIT E EMBAIXO VIGAS ORIGINADAS NO TQS – NA SEQUÊNCIA: VIGA INCLINADA, COM UM TRAMO, COM DOIS TRAMOS, COM MUDANÇA DE SEÇÃO, COM FURO E CURVA  
FONTE: A autora (2011).

Os erros relativos aos códigos foram semelhantes aos ocorridos nos dois casos anteriores: as vigas foram divididas em tramos separados. Logo, os GUIDs mantiveram um primeiro trecho igual e acrescentou-se uma extensão ao final. Essa mesma divisão gerou erros de geometria, que tornaram-se mais evidentes nos casos das vigas curvas.

As vigas que sofreram essas alterações nos GUIDs e quebras (Figura 21) foram, na maioria das vezes, aquelas que perderam as características de material e tipo.

As cargas não foram transferidas em nenhum dos casos, e com as armaduras ocorreram os mesmos erros que nos pilares e blocos.

Pode-se destacar como relevantes os erros nas vigas curvas e com furos. As primeiras, ou foram divididas em vários segmentos ou apareceram com linhas passando por fora do contorno. As vigas com furos apresentaram falhas geométricas nas faces (Figura 22).



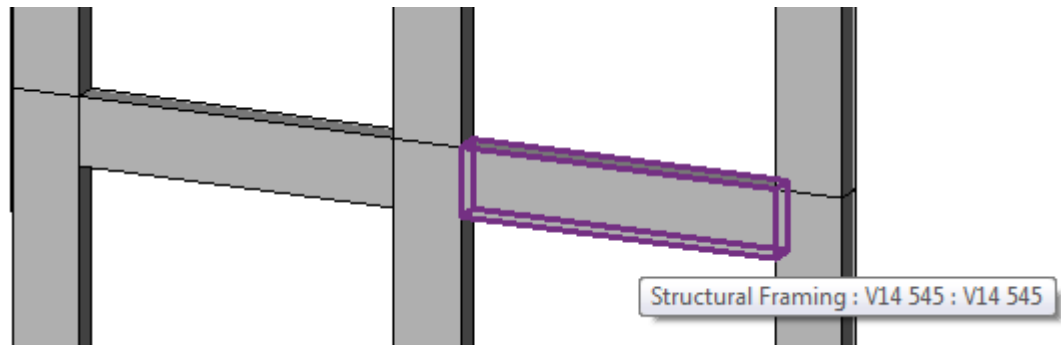


FIGURA 21 – VIGA QUE FOI QUEBRADA DURANTE A EXPORTAÇÃO (DEVERIA SER UM ELEMENTO ÚNICO)  
FONTE: A autora (2011).

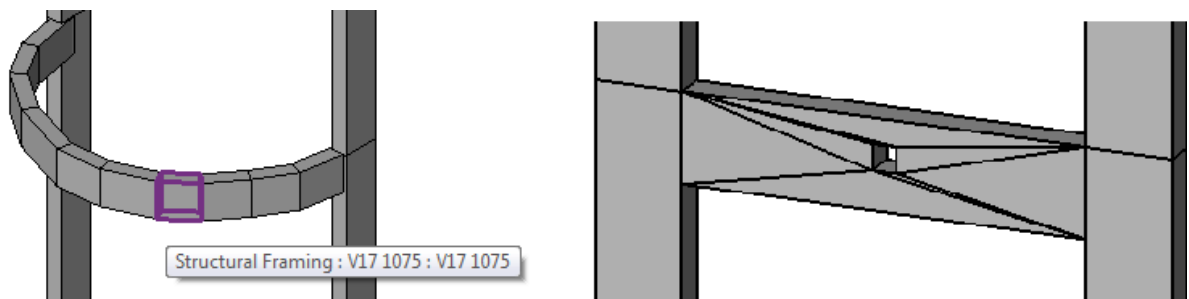


FIGURA 22 – VIGAS COM ERROS GEOMÉTRICOS- À ESQUERDA VIGA CURVA PARTICIONADA E À DIREITA VIGA COM FURO  
FONTE: A autora (2011).

### 5.3.4 Lajes

A Tabela 14 mostra as médias de importação das lajes, e a Figura 23 as lajes exportadas:

TABELA 14 – LAJES – MÉDIA DE IMPORTAÇÕES

TIPO	OBJETO	CÓDIGO	DISPOSIÇÃO	GEOMETRIA	MATERIAL	CARGAS	ARMADURAS
Lajes	Rampa	0,58	0,67	0,67	0,58	0,00	0,08
	Escada	0,58	0,67	0,58	0,50	0,00	0,08
	Nervurada	0,58	0,67	0,50	0,50	0,00	0,08
	Com Furo	0,58	0,67	0,58	0,58	0,00	0,08
	Curva	0,58	0,67	0,67	0,58	0,00	0,08
	Bordo livre	0,67	0,67	0,67	0,58	0,00	0,08

FONTE: A autora (2011).

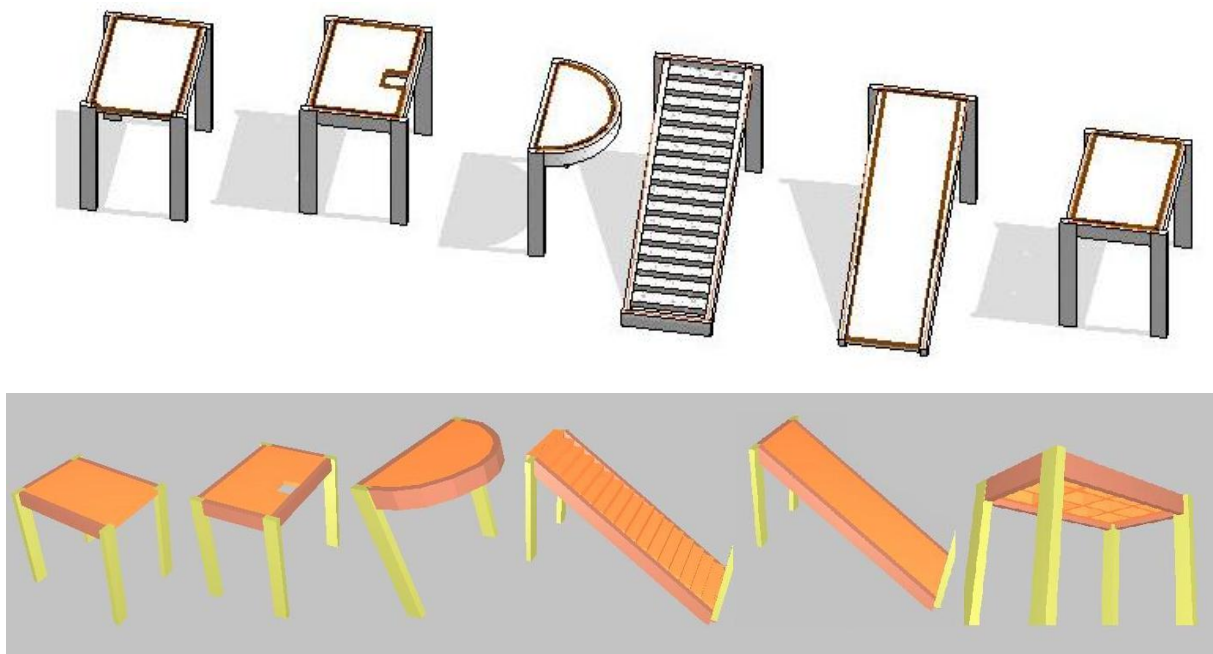


FIGURA 23 – ACIMA LAJES ORIGINADAS NO REVIT E EMBAIXO LAJES ORIGINADAS NO TQS – NA SEQUÊNCIA: LAJE COM BORDO LIVRE, COM FURO, CURVA, ESCADA, RAMPA E NERVURADA  
FONTE: A autora (2011).

Comparativamente, nas transferências as lajes constituíram os elementos que sofreram menos falhas.

Ocorreram erros nos códigos, como os descritos anteriormente. Ocorreram também erros nas geometrias, em especial nas lajes nervurada e com furo.

Observou-se menos erros nas transferências de material/tipo. As cargas não foram transferidas, e as armaduras foram transferidas apenas em um dos casos e, ainda assim, apenas como uma característica da laje, não como objeto (Figura 24).

Identification	Location	Quantities	Material	Relations	Classification	Hyperlinks
PSet_Revit_Type_Graphics		PSet_Revit_Type_Identity Data			Pset_SlabCommon	
PSet_Revit_Structural Analysis					PSet_Revit_Type_Construction	
PSet_Revit_Constraints	PSet_Revit_Dimensions	PSet_Revit_Phasing			PSet_Revit_Structural	
Property		Value				
Estimated Reinforcement Volume		0.01 m3				
Rebar Cover - Bottom Face		Interior (slabs, walls, joists) - 10M to 36M <20>				
Rebar Cover - Other Faces		Interior (slabs, walls, joists) - 10M to 36M <20>				
Rebar Cover - Top Face		Interior (slabs, walls, joists) - 10M to 36M <20>				
Structural		True				

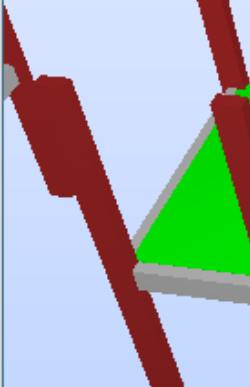


FIGURA 24 – ARMADURA DE UMA LAJE MOSTRADA NO VISUALIZADOR DE IFC COMO UMA QUANTIDADE EM m<sup>3</sup>  
FONTE: A autora (2011).

#### 5.4 CONCLUSÕES SOBRE O SEGUNDO EXPERIMENTO

No segundo experimento foi possível avaliar com maior detalhe a interoperabilidade através de arquivos IFC. Além dos resultados obtidos semelhantes ao primeiro experimento, observou-se também que as armaduras apresentaram grandes dificuldades de exportação, e os carregamentos não foram exportados.

No segundo experimento ficou ainda mais clara a desconsideração do monolitismo da estrutura e suas consequências nos modelos.

## 6 CONCLUSÕES

### 6.1 SUGESTÕES PARA A MELHORIA DA INTEROPERABILIDADE DE SISTEMAS BIM PARA ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO.

A partir dos experimentos realizados foi possível elaborar sugestões para o desenvolvimento da interoperabilidade de estruturas de concreto armado. Estas sugestões e particularidades seguem aqui descritas.

Uma das principais características das estruturas de concreto armado que deve ser levada em conta quando se trata de interoperabilidade de modeladores BIM é o fato de essas serem monolíticas. Ao contrário de estruturas de aço, madeira ou concreto pré-moldado, nas estruturas de concreto armado não existe uma divisão clara de quando termina um elemento estrutural e começa outro. Como modeladores BIM são orientados a objetos, este fator torna-se relevante.

Conforme identificado nos experimentos, a não observação dessa característica pode resultar em erros tanto na geometria quanto na identificação dos objetos pelo GUID. Para melhorar esta situação podem ser feitas duas considerações: a primeira é que, ao converter o arquivo em IFC os programas devem evitar dividir as vigas e pilares em tramos ou pavimentos, o que os torna objetos separados. Isto pode comprometer os GUIDs, a capacidade de alterar os mesmos e até a geometria.

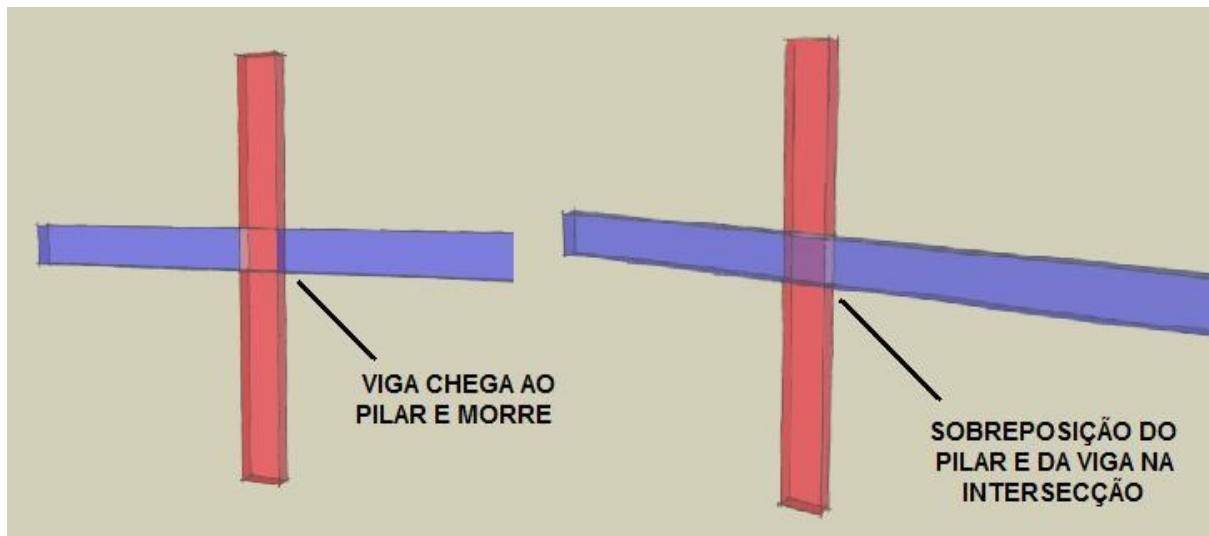


FIGURA 25 – À ESQUERDA FORMA COMO AS ESTRUTURAS SÃO TRATADAS NOS MODELOS DE CONCRETO ARMADO, E À DIREITA COMO ELAS DEVERIAM SER TRATADAS PARA QUE O MONOLITISMO DA ESTRUTURA SEJA CONSIDERADO CORRETAMENTE

FONTE: A autora (2011).

A outra sugestão é que se trabalhe com peças passando umas pelas outras, ou seja, quando há o encontro de uma viga com um pilar, um volume se sobreponha ao outro. Isso pode ocasionar um pequeno aumento na quantificação do volume total de concreto utilizado, porém evita erros nas formas e no detalhamento das armaduras (Figura 25).

Outro fator importante que se mostrou um desafio no desenvolvimento dos experimentos foi a falta de objetos BIM e o fato de esses terem poucos parâmetros. Muitas vezes tiveram de ser buscados em sites de compartilhamento de objetos BIM, ou modelados e editados. Na maioria das vezes esses mesmos objetos apresentaram problemas de interoperabilidade.

Para solucionar tal problema sugere-se a criação de bibliotecas mais amplas, nativas do próprio programa, e o desenvolvimento de objetos com maior número de parâmetros (por exemplo, nas vigas nativas de um dos sistemas não era possível editar apenas um tramo de uma viga, para que esta ficasse com alturas diferentes em cada vão e fosse entendida como uma única viga, se mantendo como um mesmo objeto).

Outra falha percebida ao exportar arquivos para IFC foi que as armaduras eram exportadas como uma característica de determinado elemento estrutural (quando era). A solução ideal seria que estas fossem exportadas como objetos

hospedados nos elementos estruturais (tal como uma porta é hospedada em uma parede). Dessa forma, seria possível fazer uma lista quantitativa das armaduras utilizadas, fazer alterações nos formatos e tipos de armaduras empregadas, etc.

De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2003) de projetos de estruturas de concreto, as armaduras devem ser caracterizadas com: bitola, espaçamento, diâmetro de dobramento, tipo de aço, cobrimento, comprimento de ancoragem e comprimento de transpasse. Logo, para que modeladores BIM sejam utilizados eficientemente, estes devem considerar e transferir todas essas características.

Já os carregamentos não foram exportados em nenhum dos casos. Também é recomendado fazer a transferência de cargas de forma que sejam exportadas como objetos hospedados nos elementos estruturais, assim como foi sugerido para as armaduras. Também se pode considerar a hipótese de transferir o carregamento diretamente do projeto arquitetônico, ou seja, uma parede poderia ser convertida em um carregamento equivalente à sua espessura, altura e material e adicionado ao modelo estrutural.

Por fim, materiais e categorias devem sempre ser exportados (ao contrário do que aconteceu nos experimentos). É importante que, por exemplo, um pilar ao ser exportado continue sendo entendido pelo programa como um pilar, não apenas como um modelo genérico. A perda desse tipo de informação traz dificuldades para realizar alterações e remodelagens, visto que não seria possível selecionar todos os pilares e movê-los ou alterá-los, por exemplo.

Estruturas de concreto armado têm por característica certa moldabilidade, ou seja, é possível elaborar estruturas curvas. Nos modelos estudados, porém, a exportação dessas curvas nem sempre foi bem sucedida. Logo, conclui-se que é necessário desenvolvimento na exportação de geometrias curvas.

A NBR 6118 (ABNT, 2003) de projetos de estruturas de concreto delimita dimensões mínimas para elementos estruturais. Isto deve ser levado em consideração para a modelagem BIM de estruturas. O programa nacional estudado gera avisos quando esses limites são ultrapassados pelo modelador. É interessante que modeladores BIM adotem essa prática para que possam ser utilizados no mercado nacional.

## 6.2 AVALIAÇÃO DA INTEROPERABILIDADE DOS SISTEMAS

Concluiu-se que a interoperabilidade entre os sistemas ainda precisa ser desenvolvida. Apesar de os sistemas exportarem arquivos IFC com uma eficiência relativa, estes apresentaram grandes dificuldades de leitura dos mesmos (não sendo possível qualquer tipo de leitura no caso do TQS e apresentando erros de leitura no caso do Revit).

As informações relativas às cargas não foram transferidas em nenhum dos casos, e aquelas relativas às armaduras foram transferidas em apenas um dos casos, porém, com erros.

Grande parte dos erros foi relacionada à transferência de informações relativas aos materiais ou tipos de elementos (se tinham função de viga, pilar etc.). Houve poucos erros relativos à disposição e código, e alguns relativos à geometria ocorreram nas de nervuras de lajes e em vigas curvas.

## 6.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Neste trabalho foi estudada a interoperabilidade de sistemas de modelagem de estruturas de concreto armado, utilizando o formato IFC. Foram discutidos requisitos específicos de transferências de informações para estruturas de concreto armado concretadas *in loco*. Um trabalho semelhante a este também poderia ser realizado testando-se outros modeladores BIM para estruturas, como o Tekla.

Para trabalhos futuros sugere-se que sejam realizados experimentos semelhantes a estes, porém com foco em outros sistemas estruturais, como estruturas de concreto pré-moldado, metálicas ou de madeira.

Sugere-se também o estudo da integração via IFC do projeto estrutural com o projeto arquitetônico, hidráulico, elétrico e de ar condicionado para compatibilização.

Uma grande dificuldade percebida durante o desenvolvimento deste trabalho foi a falta de bibliotecas de objetos parametrizados e adaptáveis aos padrões nacionais. Existiam algumas bibliotecas *on-line* e outras nativas do programa, porém

geralmente focadas nos padrões e necessidades americanas. Logo, sugere-se um estudo de adaptação de objetos para padrões nacionais, e a criação de uma biblioteca *on-line* focada nos padrões nacionais.



## REFERÊNCIAS

### CITADAS NO DOCUMENTO

- ADAMIDES, E. D.; KARACAPILIDIS, N.. Information technology support for the knowledge and social processes of innovation management, **Technovation**, v. 26, i. 1, p. 50-59, jan. 2006. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/B6V8B-4DK67P3-1/2/f4df4fd20c9ef97bbf298fe5f50ae4ad>>. Acesso em: fev. 2011.
- ANDRADE, M. L. V. X. de.; RUSCHEL, R. C.. Interoperabilidade de aplicativos BIM usados em arquitetura por meio do formato IFC, **Gestão & tecnologia de projetos**, v. 4, n. 2, 2009. Disponível em: <<http://www.arquitetura.eesc.usp.br/jornal/index.php/gestaodeprojetos/article/viewArticle/76>>. Acesso em: fev. 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6118**: Projetos de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2003
- AYRES, C.; SCHEER, S.. Diferentes abordagens do uso do CAD no processo de projeto arquitetônico. In: WORKSHOP BRASILEIRO DE GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETOS NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS, 7., 2007, Curitiba. Disponível em: <<http://www.cesec.ufpr.br/workshop2007/Artigo-57.pdf>>. Acesso em: fev. 2011.
- AZHAR, S.; NADEEM, A.; MOK, J.; LEUNG, B.. Building Information Modeling (BIM): A new paradigm for visual interactive modeling and simulation for construction projects. In: FIRST INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONSTRUCTION IN DEVELOPING COUNTRIES (ICCIDC-I), I., 2008, Karachi.
- BARAK, R.; JEONG, Y.S.; SACKS, R.; EASTMAN, C. M.. Unique requirements of building information modeling for cast-in-place reinforced concrete, **Journal of computing in civil engineering**, v. 23, i. 2, p. 64-74, mar./abr. 2009.
- BIAGINI, C.. BIM strategies in architectural project management. In: GRAPHICA, VII INTERNATIONAL CONFERENCE ON GRAPHICS ENGINEERING FOR ARTS AND DESIGN, VII., 2007, Curitiba. Disponível em: <[http://www.degraf.ufpr.br/artigos\\_graphica/BIM.pdf](http://www.degraf.ufpr.br/artigos_graphica/BIM.pdf) >. Acesso em: fev. 2011.
- BRANDALISE, L. T.. **Modelos de medição de percepção e comportamento: uma revisão**. Laboratório de Gestão, Tecnologia e Informação. Florianópolis, UFSC, 2005.

BUILDING SMART. Disponível em: <<http://www.buildingsmart.com/>>. Acesso em: abr. 2010.

CARON, A. M.. **A utilização de tecnologia de informação em escritórios de projeto**: um levantamento na região metropolitana da cidade de Curitiba. 2007. 119 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil)–Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007. Disponível em: <<http://www.ppgcc.ufpr.br/dissertacoes/d0084.pdf>>. Acesso em: fev. 2011.

CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO, J. R. F.. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado segundo a NBR 6118:2003**. 3. ed. São Carlos: Editora Edufscar, 2007.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Tabela estoque de trabalhadores por grupos de atividade econômica da construção civil - Brasil, grandes regiões e estados**. 2006.

COENDERS, J. L.. Interfacing between parametric associative and structural software. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON STRUCTURAL AND CONSTRUCTION ENGINEERING, IV., 2007, Melbourne, Australia. **Proceedings...** Melbourne, Australia, 2007.

CORRÊA, R. M.; NAVEIRO, R.. Importância do ensino da integração dos projetos de arquitetura e estrutura de edifícios: fase de lançamento das estruturas. In: WORKSHOP NACIONAL GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS, I., São Carlos, 2001. **Anais...** São Carlos, 2001.

COVAS, N.. Nota do editor, **Revista TQSnews**, 2008.

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K.. **BIM Handbook**: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors. New Jersey: John Wiley and sons, 2008.

FLORIO, W.. Contribuições do building information modeling no processo de projeto em arquitetura. In: III ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL, III., 2007, Rio Grande do Sul. **Anais...** Rio Grande do Sul, 2007.

FROESE, T.. Future directions for IFC-based interoperability, **ITCON**, v. 8, p. 231-246, 2003. Disponível em: <[www.itcon.org/2003/17](http://www.itcon.org/2003/17)>. Acesso em: fev. 2011.

GAO, Z.; MAHALINGAM, G.; NGUYEN, T. H.. Applications of building information modeling (BIM) in the design and construction process. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTING IN CIVIL AND BUILDING ENGINEERING, XII., 2008, China. 1 CD-ROM.

GARBA, S. B.; HASSANAIN, M. A.. A review of object oriented CAD potential for building information modeling and life cycle management. In: ASCAAD INTERNATIONAL CONFERENCE, E-DESIGN IN ARCHITECTURE KFUPM, I., 2004, Dhahran. **Proceedings...** Dhahran, 2004. Disponível em: <<http://www.ascaad.org/conference/2004/pdfs/paper21.pdf>>. Acesso em: fev. 2010.

GATTONI, R. L. C.. A atuação do gerente de projetos na era do conhecimento. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON KNOWLEDGE MANAGEMENT/DOCUMENTATION, ISKDM, 2001, Curitiba.

HOLZER, D.. Are you talking to me? why BIM alone is not the answer. In: ASSOCIATION OF ARCHITECTURE SCHOOLS AUSTRALASIA CONFERENCE, 2007, Australia. Disponível em: <<http://utsescholarship.lib.uts.edu.au/iresearch/scholarly-works/handle/2100/476>>. Acesso em: fev. 2011.

IBRAHIM, M.. To BIM or not to BIM this is NOT the question: how to implement BIM solutions in large design firm environments. In: EDUCATION IN COMPUTER AIDED ARCHITECTURAL DESIGN IN EUROPE CONFERENCE, XXIII., 2006, Grécia. **Proceedings...** Grécia, 2006.

IBRAHIM, M.; KRAWCZYK, R. J.; SCHIPPORIET, G.. Two approaches to BIM: a comparative study. In: EDUCATION IN COMPUTER AIDED ARCHITECTURAL DESIGN IN EUROPE CONFERENCE, XXII., 2004, Dinamarca. **Conference Proceedings**, Dinamarca, 2004a.

IBRAHIM, M.; KRAWCZYK, R. J.; SCHIPPORIET, G.. A web-based approach to transferring architectural information to the construction site based on the BIM object concept. In: CAADRIA 2004 CONFERENCE: CULTURE, TECHNOLOGY AND ARCHITECTURE, 2004, Coréia do Sul. **Proceedings...**, p 1-10, Coréia do Sul, 2004b.

IBRAHIM, M.; KRAWCZYK, R. J.; SCHIPPORIET, G.. CAD smart objects: potentials and limitations. In: EDUCATION IN COMPUTER AIDED ARCHITECTURAL DESIGN IN EUROPE CONFERENCE, XXI., 2003, Austria. **Conference Proceedings**, p. 547-552, Austria, 2003.

INSTITUTO MCKINSEY. **Produtividade no Brasil**: a chave do desenvolvimento acelerado. Rio de Janeiro: Campus, 1999. cap. 3, p. 97-118.

ISATTO, E.. O III encontro nacional de tecnologia de informação e comunicação na construção civil, **Gestão & Tecnologia de Projetos**, v. 2, n. 2, nov. 2007.

ITO, A. L. Y.. **Gestão da informação no processo de projeto de arquitetura: estudo de caso**. 2007. 162 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil)–Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007. Disponível em: <<http://www.ppgcc.ufpr.br/dissertacoes/d0089.pdf>>. Acesso em: fev. 2011.

JACOSKI, C.. **Integração e interoperabilidade em projetos de edificações**: uma implementação com IFC XML. 2003. 219 p. Tese (Doutorado em Engenharia da Produção)–Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

JACOSKI, C.; LAMBERTS, R.. A interoperabilidade como fator de integração de projetos em construção civil. In: WORKSHOP DE GESTÃO DO PROCESSO DO PROJETO NA CONSTRUÇÃO CIVIL, II., 2002, Porto Alegre. **Anais...**, Porto Alegre, 2002.

JEONG, Y. S.; EASTMAN, C. M.; SACKS, R.; KANER, I.. Benchmark tests for BIM data exchanges of precast concrete, **Automation in construction**, v. 18, i. 4, p. 469-484, jul. 2009. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/B6V20-4VB5596-1/2/3aee576a1211bd65202cb183335276f2>>. Acesso em: fev. 2011.

KANER, I.; SACKS, R.; KASSIAN, W.; QUITT, T. Case studies of BIM adoption for precast concrete design by mid-sized structural engineering firms, **ITcon**, v. 13, p. 303-323, 2008. Disponível em: <[http://www.itcon.org/cgi-bin/works/Show?2008\\_21](http://www.itcon.org/cgi-bin/works/Show?2008_21)>. Acesso em: fev. 2011.

KOLAREVIC, B.. **Architecture in the digital age**: design and manufacturing. Nova Iorque: Spon Press, 2003.

KOO, B.; FISCHER, M.. Feasibility Study of 4D CAD in Commercial Construction, **CIFE Technical Report #118**, Stanford, 1998. Disponível em: <[www-](http://www.cife.stanford.edu/technical-reports/)

leland.stanford.edu/group/CIFE/online.publications/TR118.pdf>. Acesso em: fev. 2011.

KOSTURA, Z.. BIM: a search for answers, **CTBUH Journal**, Chicago, fall issue, p. 20-23, 2007.

LAWSON, B.. CAD and creativity does the computer really help, **Creativity and cognition**, v. 3, i. 35, p. 327-331, 2002.

LAWSON B.. Oracles, draughtsmen, and agents- the nature of knowledge and creativity in design and the role of IT, **Automation in construction**, v. 3, i. 14, p. 383-391, 2005.

LEE, A.; BETTS, M.; AOUAD, G.; COOPER, R.; WU, S.; UNDERWOOD, J.. Developing a vision for an nD modeling. In: INTERNATIONAL COUNCIL FOR RESEARCH AND INNOVATION IN BUILDING AND CONSTRUCTION CONFERENCE: SYMPOSIUM ON INFORMATION TECHNOLOGY FOR CONSTRUCTION, 2002, Aarhus, Dinamarca. **Conference Proceedings**, p. 141-148, Aarhus, 2002.

LEE, A.; WU, S.; AOUAD, G.; COOPER, R.; TAH, J. H. M.. A roadmap for nD-enabled construction, **RICS Research paper series**, v. 2, i. 6, 2007.

LEE, G.; SACKS R.; EASTMAN C. M.. Specifying parametric building object behavior (BOB) for a building information modeling system, **Automation in construction**, v. 6, i. 15, p. 383-39, nov. 2006.

LOURENÇO, P. B.; GOMES, A.; OLIVEIRA, D.; MARQUES, E.; VINAGRE, J.; OLIVEIRA, R.. Sobre o cálculo automático no projecto de estruturas de betão armado. In: ENCONTRO NACIONAL DE MECÂNICA COMPUTACIONAL, V., Universidade do Minho, Guimarães, out. 1997.

MELHADO, S. B.. **Qualidade do projeto na construção de edifícios: aplicação ao caso das empresas de incorporação e construção**. 1994. 294 f. Tese (Doutorado em Engenharia)—Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

MIKALDO JUNIOR, J.; SCHEER, S.. Compatibilização de projetos ou engenharia simultânea: qual é a melhor solução? **Gestão & tecnologia de projetos**, vol. 3, n. 1, 2008.

NASCIMENTO, L. A. **Proposta de um sistema de recuperação de informação para extranet de projeto**. 2004. 130 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia)–Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

OUSTERHOUT, R.. **Master builders of byzantium**. Princeton: Princeton University Press, 1999.

PAZLAR, T.; TURK, Z.. Interoperability in practice: geometric data exchange using the IFC standard, **ITcon**, v. 13, special issue, p. 362-380, 2008.

PENTTILLÄ, H.. Describing the changes in architectural information technology to understand design complexity and free-form architectural expression, **Itcon**, v. 11, p. 395-400, 2006.

PICCHI, F. A.. **Sistemas de qualidade: uso em empresas de construção de edifícios**. 1993. 462 f. Tese (Doutorado em Engenharia)–Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

ROBERTSON, B. F.; RADCLIFFE, D. F.. **Impact of CAD tools on creative problem solving in engineering design**. In: Computer aided design, 2009.

ROBINSON, C.. Structural building information modelling in use, **International association for bridge and structural engineering (IABSE) report**, v. 94, Helsinki, 2008.

ROBINSON, C.. Structural building BIM: discussions, case studies and latest developments, **The structural design of tall and special buildings**, n. 16, p. 519–533, 2007.

ROBSON, C.. **Real world research**: second edition. Oxford: Blackwell, 2002.

SACKS, R.; BARACK R.. Impact of three-dimensional parametric modeling of building on productivity in structural engineering practice, **Automation in construction**, n. 17, p. 439–440, 2008.

SACKS, R.; EASTMAN, C.; KANER, I.; JEONG, Y.. R&D of BIM exchange standards for IFCs: a case study of architectural precast facades. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTING IN CIVIL AND BUILDING ENGINEERING, XII, 2008, China. **Conference Proceedings**, China, 2008.

SATO, C. E. Y.; DERGINT, D. E. A.. A utilização do escritório de projetos para a gestão de projetos tecnológicos em instituições de pesquisa e desenvolvimento (P&D). In: CONGRESSO ABIPTI 2004 – TECNOLOGIAS PARA INCLUSÃO SOCIAL: O PAPEL DOS SISTEMAS DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO, IV, 2004, Belo Horizonte. **Anais...** v. 1, p. 1-12, Belo Horizonte, 2004.

SAUER, C.; REICH, B. H.. Rethinking IT project management: evidence of a new mindset and its implications, **International journal of project management**, v. 27, n. 2, p. 182-193, 2009.

SERROR, M. H.; INOUE, J.; ADACHI, Y.; FUJINO, Y.. Building on IFC: e-interaction with/within structural design domain. In: JOINT INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTING AND DECISION MAKING IN CIVIL AND BUILDING ENGINEERING, Canadá, 2006. p. 316-325.

SINGH, V.; NING, G.; LONDON, K.; BRANKOVIC, L.; TAYLOR, C.. BIM: expectations and a reality check. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTING IN CIVIL AND BUILDING ENGINEERING, XII, 2008, China. **Conference Proceedings**, China, 2008.

SILVA, M. A. C.; SOUZA, R.. **Gestão do processo de projeto de edificações**. 1. ed. São Paulo: O Nome da Rosa, 2003.

STRAMANDINOLI, R. **O escritório de projetos estruturais e suas peculiaridades. buscando subsídios para o futuro negócio**. 2007. 101 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil)–Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

SUTHERLAND, I. E.. Sketchpad - a man-machine graphical communication system. In: SPRING JOINT, COMPUTER CONFERENCE, 1963, Detroit. **Proceedings...** New York, 1963. p. 329-346.

TSE, T. C. K.; WONG, K. D. A.; WONG, K. W. F.. The utilization of building information models in nD modelling: a study of data interfacing and adoption barriers, **Electronic journal of information technology in construction**, v. 10, p. 85-110, 2005.

VALENÇA, M. Z.; WANDERLEY, L.; MELO, I.. Gestão dos resíduos sólidos da construção civil: por uma prática integrada de sustentabilidade empresarial. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, XXVI., Fortaleza, 2006.

WAN, C.; CHEN, P.; TIONG, R. L. K.. Assessment of IFCs for structural analysis domain, **ITcon**, v. 9, p. 75-95, 2004.

YAN, H.; DAMIAN, P.. Benefits and barriers of building information modeling. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTING IN CIVIL AND BUILDING ENGINEERING, XII, 2008, China. **Conference Proceedings**, China, 2008.

YODERS, J.. Switching to BIM? user groups can help smooth the transition, **Building design+construction**, v. 49, n.10, ago. 2008.



## BIBLIOGRAFIA DE CONSULTA

AZUMA, F.; MACHADO C.; FREITAS M.; SCHEER S.; SCHMID, A.. Inovação tecnológica: técnicas e ferramentas aplicadas ao projeto de edificações, **Revista produção on-line**, v. 7, n. 3, 2007. Disponível em <<http://producaoonline.org.br/index.php/rpo/article/view/70/70>>. Acesso em: fev. 2011.

COLLIER, E.; FISCHER, M.. Four-dimensional modeling in design and construction, **CIFE Technical Report #101**, Stanford, 1995. Disponível em: <<http://www-land.stanford.edu/group/CIFE/online.publications/TR101.pdf>>. Acesso em: fev. 2011.

PELLEGRINO, P.. **Arquitetura e informática**. Barcelona: Gustavo Gilli, 1999.

## **APÊNDICES**

**APÊNDICE A – TABELAS DE RESULTADOS – EXPERIMENTO 1**  
**Revit para Revit**

**PLANILHA DE COLETA DE DADOS - EXPERIMENTO 1**

**PILARES**

PILARES		DE:	REVIT	PARA:	REVIT
OBJETO		CÓDIGO	DISPOSIÇÃO	GEOMETRIA	MATERIAL
P1	1	s	s	s	s
	2	s	s	s	s
	3	s	s	s	s
P2	1	s	s	s	s
	2	s	s	s	s
	3	s	s	s	s
P3	1	s	s	s	s
	2	s	s	s	s
	3	s	s	s	s
P4	1	s	s	s	s
	2	s	s	s	s
	3	s	s	s	s
	4	s	s	s	s
P5	1	s	s	s	p
	2	s	s	s	p
	3	s	s	s	p
	4	s	s	s	p
P6	1	s	s	s	s
	2	s	s	s	s
	3	s	s	s	s
P7	1	s	s	s	s
	2	s	s	s	s
	3	s	s	s	s
	4	s	s	s	s
P8	1	s	s	s	p
	2	s	s	s	p
	3	s	s	s	p
	4	s	s	s	p
P9	1	s	s	s	s
	2	s	s	s	s
	3	s	s	s	s
P10	1	s	s	s	s
	2	s	s	s	s
	3	s	s	s	s
P11	1	s	s	s	s
	2	s	s	s	s
	3	s	s	s	s

P12	1	s	s	s	s
	2	s	s	s	s
	3	s	s	s	s
MÉDIAS		1	1	1	0,9
TOTAL					0,98

### PLANILHA DE COLETA DE DADOS -EXPERIMENTO 1 FUNDAÇÕES

FUNDAÇÕES	DE:	REVIT	PARA:	REVIT
OBJETO	CÓDIGO	DISPOSIÇÃO	GEOMETRIA	MATERIAL
B1	s	s	s	n
B2	s	s	s	n
B3	s	s	s	n
B4	s	s	s	n
B5	s	s	s	n
B6	s	s	s	n
B7	s	s	s	n
B8	s	s	s	n
B9	s	s	s	n
B10	s	s	s	n
B11	s	s	s	n
B12	s	s	s	n
MÉDIAS	1	1	1	0
TOTAL				0,75

### PLANILHA DE COLETA DE DADOS - EXPERIMENTO 1 VIGAS

VIGAS	DE:	REVIT	PARA:	REVIT
OBJETO	CÓDIGO	DISPOSIÇÃO	GEOMETRIA	MATERIAL
FUNDAÇÃO				
V1	s	s	p	p
V2	s	s	p	p
V3	s	s	p	p
V4	s	s	p	p
V5	s	s	p	p
V6	s	s	p	p
V7	s	s	s	s
V8	s	s	s	s
V9	s	s	p	p
V10	s	s	s	s
V11 = VE2	s	s	s	s
TIPO				
V1	s	s	s	p

V2	s	s	s	s
V3	s	s	s	s
V4	s	s	p	p
V5	s	s	s	s
V6	s	s	s	s
V7	s	s	s	s
V8	s	s	p	p
V9	s	s	p	p
V10	s	s	s	s
COBERTURA				
V1	s	s	s	p
V2	s	s	s	s
V3	s	s	s	s
V4	s	s	p	p
V5	s	s	p	p
V6	s	s	s	s
V7	s	s	p	p
V8	s	s	s	s
V9	s	s	p	p
RESERVATÓRIO				
V1	s	s	n	p
V2	s	s	s	s
V3	s	s	s	s
V4	s	s	s	p
MÉDIAS	1	1	0,73	0,73
TOTAL				0,86

**PLANILHA DE COLETA DE DADOS -EXPERIMENTO 1****LAJES**

LAJES	DE:	REVIT	PARA:	REVIT
OBJETO	CÓDIGO	DISPOSIÇÃO	GEOMETRIA	MATERIAL
LAJES – FUNDAÇÃO				
Não há lajes				
LAJES – TIPO				
L1	s	s	s	s
L2	s	s	s	s
L3	s	s	s	s
L4	s	s	s	s
L5	s	s	s	s
L6	s	s	s	s
L7	s	s	s	s
L8	s	s	s	s
L9	s	s	s	s
L8001	s	s	s	p

L8002	s	s	p	p
LAJES – COBERTURA				
L1 – nerv	s	p	p	p
L2 – nerv	s	p	p	p
L3 – nerv	s	p	p	p
L4 – nerv	s	p	p	p
LAJES – RESERVATÓRIO				
L1	s	s	p	p
MÉDIAS	1	0,8	0,70	0,65
TOTAL				0,79

### Revit para Solibri

#### PLANILHA DE COLETA DE DADOS - EXPERIMENTO 1

#### PILARES

PILARES		DE:	REVIT	PARA:	SOLIBRI
OBJETO		CÓDIGO	DISPOSIÇÃO	GEOMETRIA	MATERIAL
P1	1	s	s	s	s
	2	s	s	s	s
	3	s	s	s	s
P2	1	s	s	s	s
	2	s	s	s	s
	3	s	s	s	s
P3	1	s	s	s	s
	2	s	s	s	s
	3	s	s	s	s
P4	1	s	s	s	s
	2	s	s	s	s
	3	s	s	s	s
	4	s	s	s	s
P5	1	s	s	s	p
	2	s	s	s	p
	3	s	s	s	p
	4	s	s	s	p
P6	1	s	s	s	s
	2	s	s	s	s
	3	s	s	s	s
P7	1	s	s	s	s
	2	s	s	s	s
	3	s	s	s	s
	4	s	s	s	s
P8	1	s	s	s	p
	2	s	s	s	p
	3	s	s	s	p
	4	s	s	s	p
P9	1	s	s	s	s
	2	s	s	s	s
	3	s	s	s	s
P10	1	s	s	s	s
	2	s	s	s	s
	3	s	s	s	s
P11	1	s	s	s	s
	2	s	s	s	s
	3	s	s	s	s

P12	1	s	s	s	s
	2	s	s	s	s
	3	s	s	s	s
MÉDIAS		1	1	1	0,9
TOTAL					0,98

### PLANILHA DE COLETA DE DADOS - EXPERIMENTO 1 FUNDAÇÕES

FUNDAÇÕES	DE:	REVIT	PARA:	SOLIBRI
OBJETO	CÓDIGO	DISPOSIÇÃO	GEOMETRIA	MATERIAL
B1	s	s	s	s
B2	s	s	s	s
B3	s	s	s	s
B4	s	s	s	s
B5	s	s	s	s
B6	s	s	s	s
B7	s	s	s	s
B8	s	s	s	s
B9	s	s	s	s
B10	s	s	s	s
B11	s	s	s	s
B12	s	s	s	s
MÉDIAS	1	1	1	1
TOTAL				1,00

### PLANILHA DE COLETA DE DADOS - EXPERIMENTO 1 VIGAS

VIGAS	DE:	REVIT	PARA:	SOLIBRI
OBJETO	CÓDIGO	DISPOSIÇÃO	GEOMETRIA	MATERIAL
FUNDAÇÃO				
V1	s	s	s	s
V2	s	s	s	s
V3	s	s	s	s
V4	s	s	s	s
V5	s	s	s	s
V6	s	s	s	s
V7	s	s	s	s
V8	s	s	s	s
V9	s	s	s	s
V10	s	s	s	s
V11 = VE2	s	s	s	s



TIPO				
V1	s	s	s	s
V2	s	s	s	s
V3	s	s	s	s
V4	s	s	s	s
V5	s	s	s	s
V6	s	s	s	s
V7	s	s	s	s
V8	s	s	s	s
V9	s	s	s	s
V10	s	s	s	s
COBERTURA				
V1	s	s	s	s
V2	s	s	s	s
V3	s	s	s	s
V4	s	s	s	s
V5	s	s	s	s
V6	s	s	s	s
V7	s	s	s	s
V8	s	s	s	s
V9	s	s	s	s
RESERVATÓRIO				
V1	s	s	p	s
V2	s	s	s	s
V3	s	s	p	s
V4	s	s	p	s
MÉDIAS	1	1	0,86	1
TOTAL				0,97

**PLANILHA DE COLETA DE DADOS - EXPERIMENTO 1**
**LAJES**

LAJES	DE:	REVIT	PARA:	SOLIBRI
OBJETO	CÓDIGO	DISPOSIÇÃO	GEOMETRIA	MATERIAL
LAJES – FUNÇÃO				
Não há lajes				
LAJES – TIPO				
L1	s	s	s	s
L2	s	s	s	s
L3	s	s	s	s
L4	s	s	s	s
L5	s	s	s	s
L6	s	s	s	s

L7	s	s	s	s
L8	s	s	s	s
L9	s	s	s	s
L8001	s	s	s	s
L8002	s	s	s	s
LAJES – COBERTURA				
L1 – nerv	s	s	s	s
L2 – nerv	s	s	s	s
L3 – nerv	s	s	s	s
L4 – nerv	s	s	s	s
LAJES – RESERVATÓRIO				
L1	s	s	s	s
MÉDIAS	1	1	1	1
TOTAL				1

**Revit para TQS**

Foi impossível realizar esta transferência, portanto todos os resultados foram considerados como zero.

## TQS para Revit

## PLANILHA DE COLETA DE DADOS - EXPERIMENTO 1

## PILARES

PILARES		DE:	TQS	PARA:	REVIT
OBJETO		CÓDIGO	DISPOSIÇÃO	GEOMETRIA	MATERIAL
P1	1	s	s	p	n
	2	s	s	p	n
	3	s	s	p	n
P2	1	s	s	p	n
	2	s	s	p	n
	3	s	s	p	n
P3	1	s	s	p	n
	2	s	s	p	n
	3	s	s	p	n
P4	1	s	s	p	n
	2	s	s	p	n
	3	s	s	p	n
	4	s	s	p	n
P5	1	s	s	p	n
	2	s	s	p	n
	3	s	s	p	n
	4	s	s	p	n
P6	1	s	s	p	n
	2	s	s	p	n
	3	s	s	p	n
P7	1	s	s	p	n
	2	s	s	p	n
	3	s	s	p	n
	4	s	s	p	n
P8	1	s	s	p	n
	2	s	s	p	n
	3	s	s	p	n
	4	s	s	p	n
P9	1	s	s	p	n
	2	s	s	p	n
	3	s	s	p	n
P10	1	s	s	p	n
	2	s	s	p	n
	3	s	s	p	n
P11	1	s	s	p	n
	2	s	s	p	n
	3	s	s	p	n

P12	1	s	s	p	n
	2	s	s	p	n
	3	s	s	p	n
MÉDIAS		1	1	0,5	0
TOTAL					0,63

### PLANILHA DE COLETA DE DADOS - EXPERIMENTO 1 FUNDAÇÕES

FUNDAÇÕES	DE:	TQS	PARA:	REVIT
OBJETO	CÓDIGO	DISPOSIÇÃO	GEOMETRIA	MATERIAL
B1	s	s	p	n
B2	s	s	p	n
B3	s	s	p	n
B4	s	s	p	n
B5	s	s	p	n
B6	s	s	p	n
B7	s	s	p	n
B8	s	s	p	n
B9	s	s	p	n
B10	s	s	p	n
B11	s	s	p	n
B12	s	s	p	n
MÉDIAS	1	1	0,50	0
TOTAL				0,63

### PLANILHA DE COLETA DE DADOS - EXPERIMENTO 1 VIGAS

VIGAS	DE:	TQS	PARA:	REVIT
OBJETO	CÓDIGO	DISPOSIÇÃO	GEOMETRIA	MATERIAL
FUNÇÃO				
V1	s	s	p	p
V2	s	s	p	p
V3	s	s	p	p
V4	s	s	p	p
V5	s	s	s	p
V6	s	s	s	p
V7	s	s	s	p
V8	s	s	p	p
V9	s	s	p	p
V10	s	s	s	p
V11 = VE2	s	s	s	p
TIPO				

V1	s	s	p	p
V2	s	s	p	p
V3	s	s	p	p
V4	s	s	p	p
V5	s	s	s	p
V6	s	s	s	p
V7	s	s	s	p
V8	s	s	p	p
V9	s	s	p	p
V10	s	s	s	p
COBERTURA				
V1	s	s	p	p
V2	s	s	p	p
V3	s	s	p	p
V4	s	s	p	p
V5	s	s	p	p
V6	s	s	s	p
V7	s	s	p	p
V8	s	s	s	p
V9	s	s	p	p
RESERVATÓRIO				
V1	s	s	s	p
V2	s	s	s	p
V3	s	s	s	p
V4	s	s	s	p
MÉDIAS	1	1	0,78	0,50
TOTAL				0,82

**PLANILHA DE COLETA DE DADOS – EXPERIMENTO1****LAJES**

LAJES	DE:	TQS	PARA:	REVIT
OBJETO	CÓDIGO	DISPOSIÇÃO	GEOMETRIA	MATERIAL
LAJES – FUNDAÇÃO				
Não há lajes na fundação				
LAJES – TIPO				
L1	s	s	s	p
L2	s	s	s	p
L3	s	s	s	p
L4	s	s	s	p
L5	s	s	s	p
L6	s	s	s	p
L7	s	s	s	p
L8	s	s	s	p
L9	s	s	s	p

L8001	s	s	s	p
L8002	s	s	s	p
LAJES – COBERTURA				
L1 – nerv	s	s	p	p
L2 – nerv	s	s	s	p
L3 – nerv	s	s	s	p
L4 – nerv	s	s	p	p
LAJES – RESERVATÓRIO				
L1	s	s	s	p
MÉDIAS	1	1	0,89	0,50
TOTAL				0,85

## TQS para solibri

## PLANILHA DE COLETA DE DADOS - EXPERIMENTO 1

## PILARES

PILARES		DE:	TQS	PARA:	SOLIBRI
OBJETO		CÓDIGO	DISPOSIÇÃO	GEOMETRIA	MATERIAL
P1	1	p	s	p	p
	2	p	s	p	p
	3	p	s	p	p
P2	1	p	s	p	p
	2	p	s	p	p
	3	p	s	p	p
P3	1	p	s	p	p
	2	p	s	p	p
	3	p	s	p	p
P4	1	p	s	p	p
	2	p	s	p	p
	3	p	s	p	p
	4	p	s	p	p
P5	1	p	s	p	p
	2	p	s	p	p
	3	p	s	p	p
	4	p	s	p	p
P6	1	p	s	p	p
	2	p	s	p	p
	3	p	s	p	p
P7	1	p	s	p	p
	2	p	s	p	p
	3	p	s	p	p
	4	p	s	p	p
P8	1	p	s	p	p
	2	p	s	p	p
	3	p	s	p	p
	4	p	s	p	p
P9	1	p	s	p	p
	2	p	s	p	p
	3	p	s	p	p
P10	1	p	s	p	p
	2	p	s	p	p
	3	p	s	p	p
P11	1	p	s	p	p
	2	p	s	p	p
	3	p	s	p	p



P12	1	p	s	p	p
	2	p	s	p	p
	3	p	s	p	p
MÉDIA		0,5	1	0,5	0,5
TOTAL					0,625

### PLANILHA DE COLETA DE DADOS - EXPERIMENTO 1 FUNDAÇÕES

FUNDAÇÕES	DE:	TQS	PARA:	SOLIBRI
OBJETO	CÓDIGO	DISPOSIÇÃO	GEOMETRIA	MATERIAL
B1	p	s	s	p
B2	p	s	s	p
B3	p	s	s	p
B4	p	s	s	p
B5	p	s	s	p
B6	p	s	s	p
B7	p	s	s	p
B8	p	s	s	p
B9	p	s	s	p
B10	p	s	s	p
B11	p	s	s	p
B12	p	s	s	p
MÉDIA	0,5	1	1	0,5
TOTAL				0,75

### PLANILHA DE COLETA DE DADOS - EXPERIMENTO 1 VIGAS

VIGAS	DE:	TQS	PARA:	SOLIBRI
OBJETO	CÓDIGO	DISPOSIÇÃO	GEOMETRIA	MATERIAL
FUNÇÃO				
V1	p	s	p	s
V2	p	s	p	s
V3	p	s	p	s
V4	p	s	p	s
V5	s	s	s	s
V6	s	s	s	s
V7	s	s	s	s
V8	p	s	p	s
V9	p	s	p	s
V10	s	s	s	s
V11 = VE2	s	s	s	s
TIPO				
V1	p	s	p	s

V2	p	s	p	s
V3	p	s	p	s
V4	p	s	p	s
V5	s	s	s	s
V6	s	s	s	s
V7	s	s	s	s
V8	p	s	p	s
V9	p	s	p	s
V10	s	s	s	s
COBERTURA				
V1	p	s	p	s
V2	p	s	p	s
V3	p	s	p	s
V4	p	s	p	s
V5	p	s	p	s
V6	p	s	p	s
V7	p	s	p	s
V8	s	s	s	s
V9	p	s	p	s
RESERVATÓRIO				
V1	s	s	s	s
V2	s	s	s	s
V3	s	s	s	s
V4	s	s	s	s
MÉDIA	0,71	1,00	0,71	1,00
TOTAL				0,85

### PLANILHA DE COLETA DE DADOS - EXPERIMENTO 1 LAJES

LAJES	DE:	TQS	PARA:	SOLIBRI
OBJETO	CÓDIGO	DISPOSIÇÃO	GEOMETRIA	MATERIAL
LAJES – FUNDAÇÃO				
Não há lajes				
LAJES – TIPO				
L1	p	s	s	s
L2	p	s	s	s
L3	p	s	s	s
L4	p	s	s	s
L5	p	s	s	s
L6	p	s	s	s
L7	p	s	s	s
L8	p	s	s	s
L9	p	s	s	s
L8001	p	s	p	s

L8002	p	s	p	s
LAJES – COBERTURA				
L1 – nerv	p	s	p	s
L2 – nerv	p	s	s	s
L3 – nerv	p	s	s	s
L4 – nerv	p	s	p	s
LAJES – RESERVATÓRIO				
L1	p	s	s	s
MÉDIA TOTAL	0,5	1	0,88	1 0,84

**TQS para TQS**

Foi impossível realizar esta transferência, portanto todos os resultados foram considerados como zero.

## Totais experimento 1

## PLANILHA DE RESULTADOS

EXPERIMENTO 1		DE:	REVIT	PARA:	REVIT
OBJETO	CÓDIGO	DISPOSIÇÃO	GEOMETRIA	MATERIAL	TOTAL
PILARES	1,00	1,00	1,00	0,90	0,98
FUNDAÇÕES	1,00	1,00	1,00	0,00	0,75
VIGAS	1,00	1,00	0,73	0,73	0,86
LAJES	1,00	0,80	0,70	0,65	0,79
TOTAIS	1,00	0,95	0,86	0,57	0,84

EXPERIMENTO 1		DE:	REVIT	PARA:	SOLIBRI
OBJETO	CÓDIGO	DISPOSIÇÃO	GEOMETRIA	MATERIAL	TOTAL
PILARES	1,00	1,00	1,00	0,90	0,98
FUNDAÇÕES	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
VIGAS	1,00	1,00	0,86	1,00	0,97
LAJES	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
TOTAIS	1,00	1,00	0,97	0,98	0,99

EXPERIMENTO 1		DE:	REVIT	PARA:	TQS
OBJETO	CÓDIGO	DISPOSIÇÃO	GEOMETRIA	MATERIAL	TOTAL
PILARES	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FUNDAÇÕES	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
VIGAS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
LAJES	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAIS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

EXPERIMENTO 1		DE:	TQS	PARA:	REVIT
OBJETO	CÓDIGO	DISPOSIÇÃO	GEOMETRIA	MATERIAL	TOTAL
PILARES	1,00	1,00	0,50	0,00	0,63
FUNDAÇÕES	1,00	1,00	0,50	0,00	0,63
VIGAS	1,00	1,00	0,78	0,50	0,82
LAJES	1,00	1,00	0,89	0,50	0,85
TOTAIS	1,00	1,00	0,67	0,25	0,73

EXPERIMENTO 1		DE:	TQS	PARA:	SOLIBRI
OBJETO	CÓDIGO	DISPOSIÇÃO	GEOMETRIA	MATERIAL	TOTAL
PILARES	0,50	1,00	0,50	0,50	0,63
FUNDAÇÕES	0,50	1,00	1,00	0,50	0,75
VIGAS	0,71	1,00	0,71	1,00	0,85
LAJES	0,50	1,00	0,88	1,00	0,84
TOTAIS	0,55	1,00	0,77	0,75	0,77

EXPERIMENTO 1		DE:	TQS	PARA:	TQS
<b>OBJETO</b>	<b>CÓDIGO</b>	<b>DISPOSIÇÃO</b>	<b>GEOMETRIA</b>	<b>MATERIAL</b>	<b>TOTAL</b>
PILARES	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FUNDAÇÕES	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
VIGAS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
LAJES	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAIS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

TOTAL	0,59	0,66	0,54	0,42	0,55
-------	------	------	------	------	------

## APÊNDICE B – TABELAS DE RESULTADOS – EXPERIMENTO 2

### PLANILHA DE COLETA DE DADOS - EXPERIMENTO 2

DE:	REVIT	PARA:	REVIT				
TIPO	OBJETO	CÓDIGO	DISPOSIÇÃO	GEOMETRIA	MATERIAL	CARGAS	ARMADURAS
Fundação	Bloco 4 estacas	s	s	s	n	X	n
	Bloco 3 estacas	s	s	s	n	X	n
	Bloco 2 estacas	s	s	s	n	X	n
	Bloco 1 estaca	s	s	s	n	X	n
Pilares	Em L	s	s	s	s	X	n
	Circular	s	s	s	s	X	n
	Apenas 1 lance	s	s	s	s	X	n
	2 lances	s	s	s	s	X	n
	Mudança Seção	p	s	s	s	X	n
Vigas	1 tramo	s	s	s	s	n	n
	2 tramos	s	s	s	n	n	n
	Mudança Seção	p	s	s	s	n	n
	Curva	s	s	p	n	n	n
	Inclinada	s	s	s	s	n	n
	Com Furo	s	s	s	s	n	n
Lajes	Rampa	s	s	s	s	n	n
	Escada	s	s	s	p	n	n
	Nervurada	s	s	s	p	n	n
	Com Furo	s	s	s	s	n	n
	Curva	s	s	s	s	n	n
	Bordo livre	s	s	s	s	n	n
MÉDIAS		0,95	1,00	0,98	0,67	0,00	0,00
TOTAL							0,90

### PLANILHA DE COLETA DE DADOS - EXPERIMENTO 2

DE:	REVIT	PARA:	SOLIBRI				
TIPO	OBJETO	CÓDIGO	DISPOSIÇÃO	GEOMETRIA	MATERIAL	CARGAS	ARMADURAS
Fundação	Bloco 4 estacas	s	s	s	s	X	p
	Bloco 3 estacas	s	s	s	s	X	p
	Bloco 2 estacas	s	s	s	s	X	p
	Bloco 1 estaca	s	s	s	s	X	p

Pilares	Em L	s	s	s	s	X	p
	Circular	s	s	s	s	X	p
	Apenas 1 lance	s	s	s	s	X	p
	2 lances	s	s	s	s	X	p
	Mudança Seção	p	s	s	s	X	p
Vigas	1 tramo	s	s	s	s	n	p
	2 tramos	s	s	s	s	n	p
	Mudança Seção	p	s	s	s	n	p
	Curva	s	s	s	s	n	p
	Incliniada	s	s	s	s	n	p
	Com Furo	s	s	s	s	n	p
Lajes	Rampa	s	s	s	s	n	p
	Escada	s	s	s	s	n	p
	Nervurada	s	s	s	s	n	p
	Com Furo	s	s	s	s	n	p
	Curva	s	s	s	s	n	p
	Bordo livre	s	s	s	s	n	p
MÉDIAS		0,95	1,00	1,00	1,00	0,00	0,50
TOTAL							0,99

### PLANILHA DE COLETA DE DADOS - EXPERIMENTO 2

DE: TQS		PARA: REVIT					
TIPO	OBJETO	CÓDIGO	DISPOSIÇÃO	GEOMETRIA	MATERIAL	CARGAS	ARMADURAS
Fundação	Bloco 4 estacas	s	s	p	n	X	n
	Bloco 3 estacas	s	s	p	n	X	n
	Bloco 2 estacas	s	s	p	n	X	n
	Bloco 1 estaca	s	s	p	n	X	n
Pilares	Em L	s	s	s	n	X	n
	Circular	s	s	p	n	X	n
	Apenas 1 lance	s	s	s	n	X	n
	2 lances	s	s	p	n	X	n
	Mudança Seção	s	s	p	n	X	n
Vigas	1 tramo	s	s	s	p	n	n
	2 tramos	s	s	p	p	n	n
	Mudança Seção	s	s	p	p	n	n
	Curva	s	s	p	p	n	n
	Incliniada	s	s	p	p	n	n
	Com Furo	s	s	p	p	n	n



Lajes	Rampa	s	s	s	p	n	n
	Escada	s	s	p	p	n	n
	Nervurada	s	s	p	p	n	n
	Com Furo	s	s	p	p	n	n
	Curva	s	s	s	p	n	n
	Bordo livre	s	s	s	p	n	n
MÉDIAS		1,00	1,00	0,64	0,29	0,00	0,00
TOTAL							0,73

### PLANILHA DE COLETA DE DADOS - EXPERIMENTO 2

DE:	TQS	PARA:	SOLIBRI				
TIPO	OBJETO	CÓDIGO	DISPOSIÇÃO	GEOMETRIA	MATERIAL	CARGAS	ARMADURAS
Fundação	Bloco 4 estacas	p	s	s	p	n	n
	Bloco 3 estacas	p	s	s	p	n	n
	Bloco 2 estacas	p	s	s	p	n	n
	Bloco 1 estaca	p	s	s	p	n	n
Pilares	Em L	s	s	s	p	X	n
	Circular	s	s	s	p	X	n
	Apenas 1 lance	s	s	s	p	X	n
	2 lances	p	s	p	p	X	n
	Mudança Seção	p	s	p	p	X	n
Vigas	1 tramo	s	s	s	s	n	n
	2 tramos	p	s	p	s	n	n
	Mudança Seção	p	s	p	s	n	n
	Curva	p	s	p	s	n	n
	Incliniada	p	s	p	s	n	n
	Com Furo	p	s	s	s	n	n
Lajes	Rampa	p	s	s	s	n	n
	Escada	p	s	s	s	n	n
	Nervurada	p	s	p	s	n	n
	Com Furo	p	s	s	s	n	n
	Curva	p	s	s	s	n	n
	Bordo livre	s	s	s	s	n	n
MÉDIAS		0,62	1,00	0,83	0,79	0,00	0,00
TOTAL							0,81